

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Э.А. Петровский

« _____ » _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студент Козак Артём Евгеньевич

Группа ГБ13-04 Направление 21.03.01.07

Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства

Тема выпускной квалифицированной работы: Модернизация шарошечного долота диаметром 184 мм для глубокого бурения пород средней и большой крепости

Утверждено приказом по университету № _____ от _____

Руководитель выпускной квалификационной работы кандидат технических наук, доцент кафедры ТМиОНГК ИНиГ СФУ Данилов Александр Константинович.

Исходные данные для ВКР: Буровое шарошечное долото 184,0 М-ГАУ-R98;

Перечень разделов ВКР: Буровые долота (общие сведения, классификация, патентно-информационный обзор); анализ существующих методик расчета шарошечного долота; проектирование шарошечного долота; построение сборочной модели; выбор и расчёт конструктивных элементов бурового долота;

Перечень графического материала: Чертежи трехшарошечного долота, его детализовка. Презентационный материал в количестве 15 слайдов, связанный с перечнем разделов ВКР.

Руководитель ВКР

А. К. Данилов

подпись

Задание принял к исполнению

А.Е. Козак

подпись

« ____ » _____ 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Модернизация шарошечного долота диаметром 184 мм для глубокого бурения пород средней и большой крепости» содержит 103 страницы текстового документа, 16 использованных источников, 7 листов графических материалов.

ШАРОШЕЧНОЕ ДОЛОТО, МЕТОДИКИ РАСЧЕТА, ВООРУЖЕНИЕ ШАРОШЕК, МОДЕЛЬ ДОЛОТА, РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ЛИНИИ РЕЗАНИЯ.

Объект работы – Буровое долото шарошечного типа.

Цель работы:

- разработать конструкцию шарошечного долота диаметром 184 мм с рациональными параметрами разрушения горной породы;

Задачи: анализ количества элементов твердосплавного вооружения, входящих в состав конструкции шарошки; подбор шага, вычисление траектории и длины прохождения каждой линии резания по забойному пространству; разработать модель трехшарошечного долота; определить оптимально выгодные характеристики вооружения долота.

В ходе выполнения ВКР был проведен обзор и анализ информации о существующих методиках расчета, разработана 3D модель и проведен конструктивный анализ вооружения шарошки с помощью моделирования линий резания.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Буровые долота.....	9
1.1 Общие сведения.....	9
1.2 Лопастные долота	12
1.3 Алмазные долота.....	16
1.4 Фрезерные буровые долота.....	19
1.5 Истирающе-режущие долота типа ИСМ	20
1.6 Классификация шарошечных долот.....	21
1.7 Конструктивные элементы современных шарошечных долот	29
1.8 Материалы для изготовления шарошечных долот	33
1.8.1 Стали, применяемые для изготовления шарошечных долот.....	33
1.8.2 Изготовление зубков долот.....	36
1.9 Патентно-информационный обзор	40
1.9.1 Патент № 2515795	40
1.9.2 Патент № 2520974.....	42
1.9.3 Патент № 2513650.....	44
1.9.4 Патент № 2479708.....	46
1.9 Выводы.....	49
2 Анализ существующих методик расчета шарошечного долота.....	51
2.1 Буримость горных пород и методы ее оценки.....	51
2.2 Способы разделения разреза на пачки	53
2.3 Закономерности изменения механической скорости проходки в процессе бурения	56
2.4 Безразмерные характеристики разрушения горных пород.....	62
2.5 Объемное разрушение горной породы вооружением шарошек	64
2.6 Зависимости начальных характеристик разрушения горных пород от осевой нагрузки на долото	68
2.7 Обобщенные показатели сопротивления горных пород разрушению	

вооружением долот	70
2.8 Влияние промывочной жидкости на механическую скорость бурения	72
2.9 Влияние удельного расхода промывочной жидкости на механическую скорость проходки.....	73
2.10 Мощность и момент, обеспечивающие работу долот	74
2.11 Выводы	79
3 Проектирование шарошечного долота	80
3.1 Конструкционные материалы шарошечного долота и его изготовление	80
3.2 Разработка модели долота	83
3.2.1 Входные данные	83
3.2.2 Выбор и расчёт конструктивных элементов бурового долота	84
3.2.3 Проектирование корпуса шарошки	89
3.2.4 Проектирование лапы	92
3.2.5 Проектирование ниппеля	96
3.2.6 Построение сборочной модели	97
3.3 Выводы.....	99
Заключение	100
Список используемых источников.....	101
Приложение А. Графические материалы	

ВВЕДЕНИЕ

Шарошечные долота являются одной из разновидностей бурового оборудования. Они представляет собой породоразрушающие (дробящие и дробяще-скалывающие) инструменты буровых станков вращательного бурения. На долю шарошечных долот ежегодно от общего объёма производимых буровых работ приходится около девяноста процентов, как в России, так и за рубежом.

Несмотря на то, что долото с шарошками было изобретено более 100 лет назад (в США в 1909 году), в настоящее время, по причине сложности и разнообразия геолого-технологических условий бурения, ведутся исследования целью которых является модернизация инструмента и повышение эффективности его работы.

Оценка эффективности новых конструкций долота является сложным процессом по причине дорогостоящих и малоинформативных промысловых испытаний, по которым сложно дать однозначное заключение. Из-за несовершенства существующих систем измерения в процессе бурения информации о необходимых при оценке параметров недостаточно. Поэтому использовать результаты этих измерений для совершенствования конструкции долота и технологии бурения не всегда целесообразно.

В настоящее время, одной из приоритетных проблем, стоящих перед бурением, является проходжение грунтов разной категории прочности одним инструментом.

Решением этой проблемы является разработка бурового долота, которое при любых категориях прочности грунта и наличия трещиноватостей будет сохранять большую скорость работы и проходку.

На практике при глубоком бурение применяется 2 основных вида бурения шарошечное и лопастное. Наиболее широкое применение нашли инструменты на основе шарошечного бурения, но в связи с возможностью

встречи с трещиноватыми и осадочными породами буровой инструмент его эффективность снижается и резко падает надёжность.

В связи с этим очень важно конструктивно-грамотно подобрать вооружение породоразрушающего инструмента. В ходе работы демонстрируется способ наглядного и эффективного моделирования твёрдосплавных вооружений шарошечного долота, позволяющий оперативно подбирать оптимальные параметры конструкции.

1 Буровые долота

1.1 Общие сведения

В бурении скважин по добыче нефти и газа используется вращательный метод. Этот метод характеризуется тем, что скважина высверливается долотом, которое непрерывно находится во вращении. В процессе разбуривания частицы разрушенной породы выносятся на поверхность. Это может достигаться нагнетаемым в скважину воздухом (газом) или непрерывно циркулирующей струёй бурового раствора.

Вращательное бурение делится на два вида [в зависимости от местонахождения двигателя]:

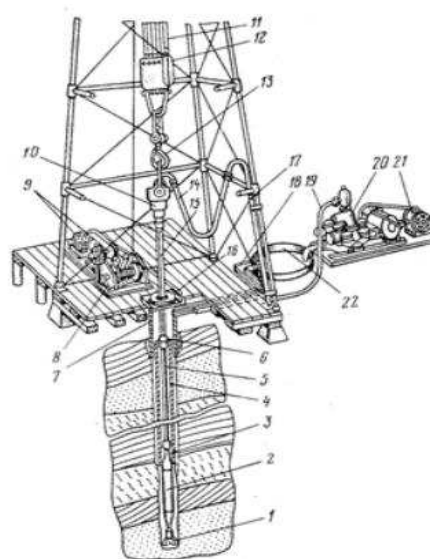
- роторное, двигатель располагается на поверхности, инструмент бурения в движение приводится вращением колонной бурильных труб;
- бурение с забойным двигателем (гидравлическим или при помощи электробур), двигатель размещают в забойной компоновке над долотом.

Непременно в буровых работах приходится сталкиваться с процессом спускоподъёмных работ. Начало СПО сопровождается спуском бурильных труб с долотом в скважину до того момента, пока вся компоновка не достигнет забоя. После отработки долота, его критического состояния, так же в процессе смены технологии бурения, а возможно и иных возникающих трудностях, бурильные трубы поднимаются из скважинного пространства совместно с компоновкой низа. Операции, составляющие буровой процесс, периодически ставятся на «паузу» с целью осуществления спуска обсадных труб в скважину. Это требуется для предохранения стенок скважин от обвалов, для разобщения нефтяных/газовых и водяных горизонтов.

В ходе бурения на нефть или газ выполняются параллельные работы. К ним можно отнести отбор кёрна, каротаж, приготовление промывочной жидкости (бурового раствора), замер кривизны, освоение скважины с целью вызова притока нефти (газа) в скважину и т. п. Если происходит авария или

возникает осложнение (прихват инструмента, поломка бурильных труб и т.д.), то производятся дополнительные, аварийные работы.

Схема буровой установки для осуществления бурения вращательным методом представлена на рисунке 1.1.



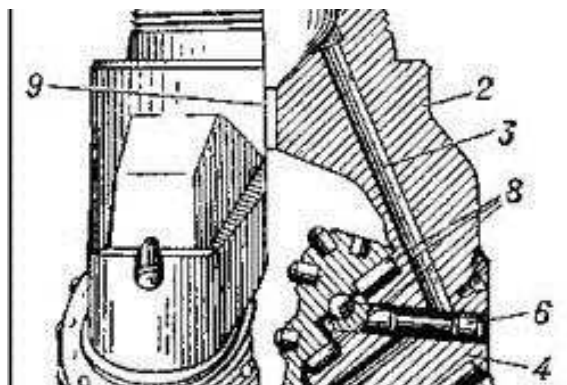
1 - долото; 2 - гидравлический забойный двигатель (при роторном бурении не устанавливается); 3 - бурильная труба; 4-бурильный замок; 5-лебедка; 6-двигатели лебедки и ротора; 7-верглюг; 8-талевый канат; 9-талевый блок; 10 крюк; 11-буровой шланг; 12-ведущая труба; 13-ротор; 14-вышка; 15-желоба; 16-обвязка насоса; 17-буровой насос; 18-двигатель насоса; 19-приемный резервуар (емкость)

Рисунок 1.1 – Схема буровой установки для глубокого вращательного бурения

Следует отметить, что долото - это основной компонент специального инструмента, применяемого для сплошного бурения газовых, нефтеносных, водных скважин, а также скважин для прочих технических, промышленных, строительных нужд.

Основной функцией долот является воздействие на породу с целью разрушения грунта в ограниченной зоне воздействия (забое) буровой колонны, осуществить глубинную проходку. Долота именно поэтому относят к породоразрушающему снаряжению.

Как элемент бурового оборудования, долото имеет множество самых разнообразных конструкций, а также их модификаций. Они определяются способами бурения и особенностями разных горных пород, а также ставящимися перед ними технологическими целями. Горные породы, находящиеся в площади забоя, в зависимости от конструкции долот, разрушаются одним из способов: ударным или ударно-сдвигающим воздействием.



1 — наружная конусная соединительная резьба (ниппель); 2 — секция (лапа) долота; 3 — каналы в лапе и цапфе для продувки опоры; 4 — цапфа лапы; 5 — твердосплавные зубки с полусферической рабочей частью; 6 — замковый палец; 7 — шарошки; 8 — подшипники качения; 9 — центральный канал для продувки забоя и шарошек

Рисунок 1.2 – Трёхшарошечное долото для сплошного бурения в очень крепких породах

Рассматривая характер эксплуатации бурильного снаряжения, важно отметить, что оно в процессе работы не только разрушает сплошной грунт в плоскости забоя скважины, но при этом формирует стенки этой скважины. Чем больше в земную толщу углубляется бур, тем более неблагоприятные воздействия оказываются на его составные части. Так, например, долота воспринимают на себе очень интенсивные статические и циклические нагрузки, воздействие крутящего момента. Все эти негативные воздействия приводят к различным вариантам абразивного, усталостного, ударноабразивного, коррозионного износа снаряжения.

Поэтому производство бурового инструмента должно осуществляться из высококачественных сортов стали, твёрдосплавных соединений металлов. Так как этот элемент бурильного оборудования классифицируется как инструмент одноразового применения, соответственно его конструкцию проектируют так, чтобы она гарантировала экономически обоснованную длительность эксплуатации.

1.2 Лопастные долота

Долота типа лопастные от разницы конструкции и содержания твёрдого сплава предназначаются для бурения мягких и средней твёрдости пород, а также мягких – с пропластками средних малоабразивных пород. Возможно использование и для разбуривания цементных пробок, металлических деталей низа обсадных колонн и расширения ствола скважины.

Просты по конструктивной составляющей и технологии изготовления рассматриваемые долота. Они не имеют в своей характеристике самостоятельно вращающихся частей. Лопасть, вот что является основным рабочим органом.

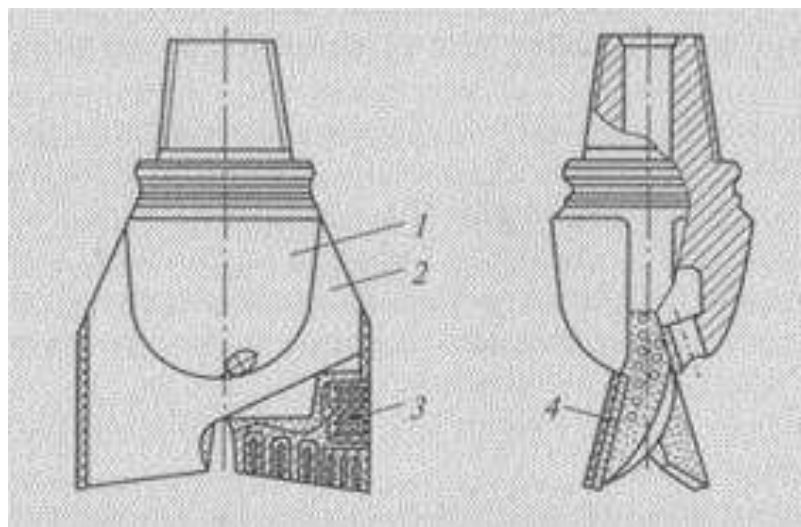
На сегодняшний день выпуск долот с лопастями можно разбить на следующие виды:

- 1) 2Л - двухлопастные диаметрами от 76 до 165,1 мм с обычной (проточной) промывкой (рисунок 9);
- 2) 3Л - трехлопастные диаметрами от 120,6 до 469,9 мм с обычной и гидромониторной промывкой;
- 3) 3ИР -трехлопастные истирающе-режущего действия диаметрами от 190,5 до 269,9 мм с обычной и гидромониторной промывкой;
- 4) 6ИР - шестилопастные истирающе-режущего действия диаметрами от 76 до 269,9 мм с обычной или гидромониторной промывкой (рисунок 10);

5) П – пикообразные (однолопастные) диаметрами 98,4 до 444,5 мм с обычной промывкой.

6) ПЦ – пикообразное для разбуривания цементных пробок и низа обсадной колонны. Выпускаются цельноковаными и сварными, Ø 98,4 ÷ 444,5 мм;

7) ПР – пикообразные для расширения ствола скважины.



1 – корпус; 2- лопасть; 3 – твердосплавные штыри; 4 – режущая кромка

Рисунок 1.6 – Двухлопастное долото

Зависимость от твёрдости пород, которые следует пройти выбранным долотом, представляется следующая классификация:

- 1) М - для мягких пород;
- 2) МС - для мягких пород с пропластками средней твердости;
- 3) МСЗ - для мягких абразивных пород с пропластками средней твердости;
- 4) С - для пород средней твердости.
- 5) Ц - для разбуривания цементных пробок и металлических деталей низа обсадных колонн;
- 6) Р - для расширения ствола скважины.

Базирующими составляющими конструкции долота являются корпус и лопасти. В верхней части инструмента присутствует конусная

присоединительная резьба. Над лопастями размещены промышленные отверстия для подачи бурового раствора на забой. Рабочие поверхности лопастей могут быть армированы твёрдосплавными штырями, алмазами или твёрдым сплавом «Славутич».

Двухлопастные долота предназначены для разбуривания пластичных, мягких пород. В зависимости от способа армирования и формы выполнения режущих элементов 2-х лопастные долота подразделяются на М и МС.

Вставные штыри изготавливаются из вольфрамокобальтового соединения.

Трёхлопастные долота. По конструкции промывочного узла бывают:

1) с тремя обычными промывочными каналами, расположенными под углом 120 относительно друг друга.

2) с тремя каналами, оснащёнными струйными соплами (Г).

Истирающе-режущие долота предназначены для бурения глубинных скважин, используются для пробуривания средней твёрдости пород, а также абразивных. Отличаются от двух и трёх лопастных большей толщиной лезвий лопастей. Эти долота выпускаются с тремя и шестью лопастями.

Инструменты лопастного типа отличаются от шарошечных относительной простотой в конструкции и в технологии их производства. Отличаются они и по уровню твёрдости обрабатываемых горных пород. Лопастные бурильные элементы хорошо показывают себя на высоких скоростях вращения при работе на мягких, вязких, несцементированных породах, характеризующихся высокой степенью рыхлости и пластичности.

Благодаря своим конструкционным особенностям, такие долота в подходящих для них породах способны давать результат в сотни метров (иногда до 1500 м) проходки за один рейс.

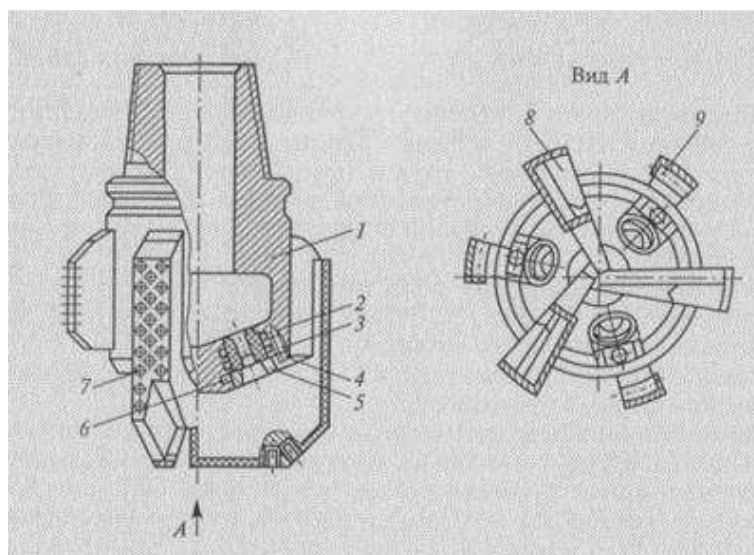


Рисунок 1.7 – Лопастное долото 6ИР

Однако высокая скорость проходки с помощью данного типа снаряжения сопряжена с необходимостью с неким периодом расширять диаметр скважины перед использованием очередного нового долота.

Кроме того, поскольку рабочие органы лопастных долот находятся в постоянном соприкосновении с породой, они изнашиваются быстрее, в сравнении с долотами шарошечного типа.

Согласно отраслевым стандартам, на сегодняшний день известны следующие разновидности лопастных долот:

1) Однолопастные (пикообразные). Диаметр – 98,4-444,5 мм. Промывка – проточная (обычная). Разбуривают цементные пробки и металлические детали низа обсадной колонны.

2) Двухлопастные. Диаметр – 76,0-165,1 мм. Промывка – проточная. Применяются на мягких и пластичных горных породах.

3) Трёхлопастные. Диаметр – 120,6-469,9 мм. Промывка – проточная и гидромониторная.

4) Трёхлопастные истирающе-режущего действия. Диаметр – 190,5-269,9 мм. Промывка – проточная и гидромониторная.

5) Шестилопастные истирающе-режущего действия. Диаметр – 76,0-269,9 мм. Промывка – проточная и гидромониторная.

Трёхлопастные долота, долота трёхлопастные истирающе-режущего действия и долота шести лопастные истирающе-режущего действия применяют с целью формирования в горных породах скважин для нефте- и газодобычи.

1.3 Алмазные долота

Группа алмазных долот имеет следующее назначение. Они предназначены для прохождения неабразивных пород средней твёрдости и твёрдых пород. И заметим, долота с алмазными вставками не имеют вращающихся частей.

Алмазное долото состоит из стального корпуса с присоединительной резьбовой головкой и алмазонесущей головки – матрицы.

Изготовление матрицу осуществляют методом прессования и спекания. В пресс-форму засыпают твёрдосплавной порошкообразный материал. Алмазы структурно раскладываются по определённой схеме. Корпус алмазного долота выполняется из конструкционной углеродистой стали с содержанием углерода 0,35-0,4%. Рабочая фасонная поверхность (матрица) выполнена из порошкообразного или зернистого твёрдого сплава, пропитанного твёрдым припоем, и спаянного в процессе пропитки со стальным корпусом.

Инструмент напорными каналами разбивается на секторы, которые образуются с центральным промывочным отверстием.

Такой вид долот производят диаметрами 91,4-391,3 мм двух модификаций. По форме и направлению пазов, промывочных канавок, рабочей головки долото делятся на разновидности:

Однослойные с размещением зёрен алмазов в поверхностном слое матрицы по определённым схемам:

- ДР - радиальные;
- ДТ - ступенчатые;

- ДК - ступенчатые с шаровидными выступами.

1. Импрегнированные – это алмазное долото, в котором при изготовлении объёмные алмазы перемешиваются с материалом матрицы шихтой, обеспечивая тем самым равномерную насыщенность матрицы алмазами с примерно равномерным распределением мелких зёрен алмазов в объёме матричного материала (тип - с шаровидными выступами ДИ).

Бурение алмазными долотами не разрешается в часто перемежающихся трещиноватых, кавернозных породах, сложенных различными окаменелостями и другими крепкими абразивными породами.

Алмазные долота при турбинном бурении дают более высокую механическую скорость при одинаковой величине проходки, на долото. Бурение алмазными долотами может продолжаться без перерыва до 200-250 ч. Алмазное долото считается отработанным полностью при общей потере алмазов 40%. Нагрузка на долото в зависимости от диаметра $6 \div 12$ тн.

Преимущества алмазных долот:

- 1) высокие рейсовые скорости;
- 2) сокращение СПО;
- 3) снижение кривизны при бурении вертикальных скважин;
- 4) экономия средств. Перед началом бурения алмазными долотами необходимо подготовить ствол скважины.

Перед спуском алмазного долота последние два-три рейса шарошечным долотом необходимо проводить с одновременной очисткой скважины от металла и крупного шлама с помощью забойного шлагоуловителя, установленного над долотом при роторном бурении и при турбинном бурении.

Если необходима дополнительная очистка скважины и калибровка ствола, то следует сделать специальный рейс забойного шлагоуловителя.

Успешное применение алмазных долот привело к созданию ряда конструкций твёрдосплавных долот, обеспечивающих аналогичный принцип разрушения горной породы.

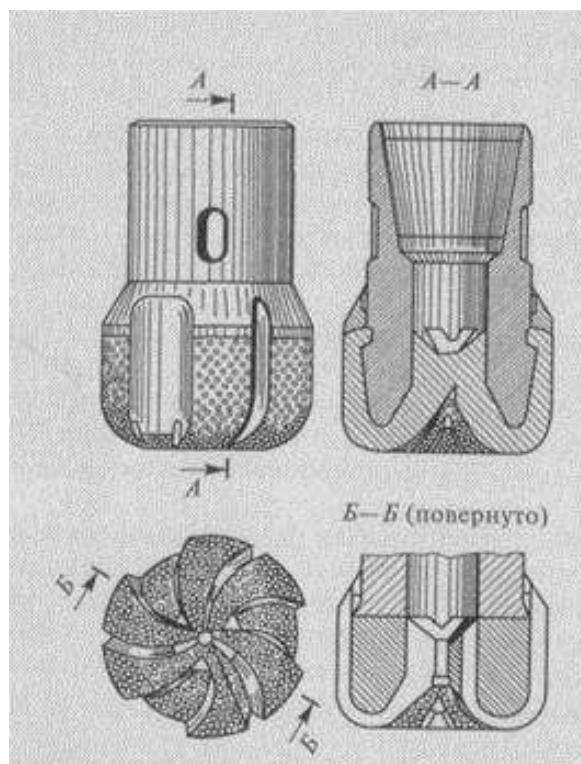


Рисунок 1.8 – Алмазное радиальное долото ДР

Данные породоразрушающие инструменты, чаще всего имеющие монолитную конструкцию, используют при буровых работах на породах, которые характеризуются средним уровнем твёрдости. Применяют их и в случаях чередования высокопластичных горных пород со средне твёрдыми и твёрдыми породами. Разрушение породной неабразивной структуры алмазным долотом происходит посредством ее истирания (микрорезания).

Как следует из названия указанного типа, главная особенность таких долот – наличие в их составе режущих элементов, изготовленных из алмаза.

Технические параметры и степень продуктивности такого инструмента зависит от качества и величины технических алмазов.

Стоит отметить определённую технологическую «капризность» алмазных буровых долот. Они находятся в зависимости от чистоты ствола и забоя скважины, и от интенсивности промывки буровым раствором. Алмазные элементы просто могут раскалываться и выкрашиваться из корпуса породоразрушающего инструмента, если забойная плоскость будет содержать частицы металла или обломки очень твёрдых пород.

Внутри своей группы буровые инструменты на основе алмазов также делятся по нескольким признакам. Так, форма и ориентирование пазов, канавок приёмки и других рабочих элементов определяют три вида алмазных долот:

- 1) радиальные;
- 2) спиральные;
- 3) ступенчатые.

В соответствии с расположением алмазных камней в матрице долота, различают два вида инструментов: однослойные и многослойные долота.

1.4 Фрезерные буровые долота

Фрезерные буровые долота по своим характеристикам выгодно отличаются от своих «собратьев». Они гораздо упрощены в своей конструкции, если производить сравнение с лопастными и шарошечными инструментами. В сравнении с последним типом, фрезерное долото обладает лучшими показателями прочности и стойкости. В него запрессованы дробящие элементы, которые и обеспечивают высокую эффективность проходки.

Рассмотрев уже вид алмазных долот можно в сравнении выделить ещё одно преимущество фрезерного сооружения. Они не боятся взаимодействия на забое с металлическими твёрдосплавными вкраплениями [долото не боится твёрдых пород или металлических элементов]. Более того, существует возможность применения для разбуривания застрявших в стволе шарошек и прочих посторонних металлических объектов, что отражает существенное преимущество. При помощи фрезерных долот можно относительно легко и качественно устранять в скважинах бетонные пробки и цементные мосты.

Конструкционную базу фрезерного долота составляет удлинённый монолитный корпус с запрессованными в нём рабочими дробящими элементами (штыри и пр.), усиленными твёрдосплавными металлами.

Помимо этого, долото имеет очень простое по своему строению устройство промывки.

К сожалению, и этот вид инструмента не лишён некоторых недостатков, поэтому наряду с указанными выше достоинствами, обратим внимание и на минусы.

Например, при бурении этим типом долот сложно добиться высокой механической скорости проходки. Также, они практически непригодны для бурильных операций в пластах глины и прочих вязких и пластичных горных породах. К минусу можно отнести и довольно примитивный способ промывки.



Рисунок 1.9 – Фрезерное долото

Тем не менее, данный породоразрушающий инструмент просто незаменим для бурения нефтяных, газовых и любых других скважин. Такое долото чаще всего используется в качестве вспомогательного элемента, однако в некоторых случаях применяется и как основное.

1.5 Истирающе-режущие долота типа ИСМ

Долота данного типа снабжены рабочими вставками из сверхтвёрдого материала – славутича. Форма и количество вставок и их расположение на

долоте зависит от физико-механических параметров породы, которую необходимо пройти данным инструментом.

Обладая повышенной износостойкостью (в сравнении с лопастными и фрезерными долотами), более низкой стоимостью и улучшенной проходимостью по скважине (в сравнении с алмазными), долота ИСМ отличаются отличной надёжностью.

Благодаря наличию сверхтвёрдых вставок из славутича, они выходят из строя далеко не часто. Это положительное явление не уменьшает своих показателей даже, когда ствол и забой по какой-то причине оказываются недостаточно хорошо подготовленными перед спуском долота в скважину.

На сегодняшний день долота ИСМ производятся трёх видов: режущего действия, торцевые и истирающие.

Режущими бурятся достаточно глубокие скважины, расположенные в мягких и среднепластичных породах.

Торцевые применяются при забурировании и бурении нового ствола и при ликвидации возможных аварий на скважинах.

Наконец, истирающими долотами ИСМ формируют газовые, нефтяные и разведочные скважины, глубоко проникающие в малоабразивные осадочные породы.

В зависимости от формы рабочих элементов, долота ИСМ делятся на радиальные и секторные. К первой группе принадлежат инструменты, которые используются в основном при турбинном бурении стволов глубиной более 3000 м. Ко второй группе относятся долота, участвующие в турбинном и роторном бурениях.

1.6 Классификации шарошечных долот

Шарошечные долота производят до 90 % объёмов бурения. Шарошечные долота наиболее широко распространены и предназначены для сплошного бурения нефтяных и газовых скважин.

Преимущества, которыми обладают шарошечные долота:

1) Сравнивая площади контакта шарошечных долот и лопастных с забойной площадкой, следует отметить, что площадь взаимодействия первых значительно меньше, но величина длины их рабочих кромок больше. Эта характеристика позволяет значительно повышать эффективность разрушения горных пород;

2) Вооружение шарошечного долота испытывает перекатывание по площади забоя, а лезвие лопастного долота оказывает скользящее действие на породу, вследствие такого свойства интенсивность износа зубцов шарошек ниже интенсивности износа лезвий лопастных долот;

3) Из-за того, что шарошки перекатываются по забойному пространству крутящий момент, воспринимаемый долотом, относительно невелик. Это способствует минимизации опасности заклинивания шарошечного долота.

По количеству рабочих органов долота типа «Шарошечные» классифицируются на следующие виды:

- Одношарошечные
- Двухшарошечные
- Трёхшарошечные
- Четырёхшарошечные
- Шестишарошечные

Количество шарошек инструмента определяет условия его применения. Например, одношарошечные рекомендовано вводить в эксплуатацию для бурения скважин на большую глубину; двухшарошечные долота можно использовать в геологоразведке; трёхшарошечные – при бурении скважин на нефть и газ; а четырёхшарошечные долота используются при работе в сложных условиях.

По многочисленным условиям производственных работ выявлено, что в большинстве случаев бурение скважин осуществляется 3-х шарошечными буровыми инструментами.

Каждый вид породоразрушающего инструмента выпускается сериями. Серия определяет специфику конструкции или технологии изготовления (например, ГНУ, ГАУ). Характеризуется иной конструкцией отдельного узла (например, вооружение). Вооружением шарошек является сама конструкция, например, показатели следующих характеристик: число и размер зубьев, а также расположение на теле шарошки твёрдого сплава.

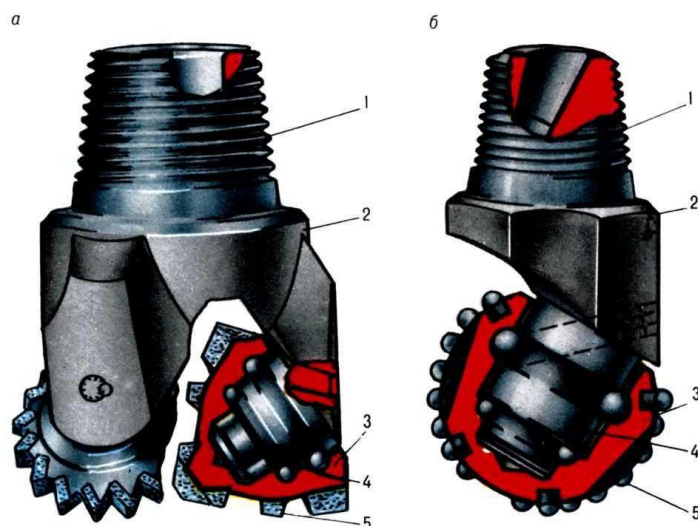
По техническим параметрам вооружения шарошечные долота подразделяются на три класса:

- первый класс включает зубчатые рабочие элементы (выфрезерованные стальные элементы);
- второй класс – штыревые рабочие органы (вставное твердо-сплавное вооружение);
- третий класс содержит зубчато-штыревое вооружение долота.

Долота независимо от их назначения, конструктивных параметров и типа, нормализованы по диаметрам. Оптимальный ряд породоразрушающего инструмента изменяется от 46,0 до 508 мм.

Если рассматривать наш регион, то в основном бурение производится трёх шарошечными долотами. Размеры инструмента для грамотной реализации подразделяются по условиям предстоящей работы:

- 1) 393,7 мм – для бурения под направление;
- 2) 295,3 мм – для бурения под кондуктор;
- 3) 215,9; 190,5 мм – для бурения под эксплуатационную колонну.



а - трёхшарошечное; б - одношарошечное; 1 - наружная конусная присоединительная резьба (ниппель); 2 - секция (лапа) долота; 3 - шарошки; 4 - опора долота; 5 - зубья шарошек

Рисунок 1.10 - Шарошечные долота

Типы долот делятся на модификации:

1) по схеме промывки:

Г – гидромониторная (боковая) промывка;

Ц – центральная промывка;

П – центральная продувка;

ПГ – боковая продувка.

2) по конструктивному выполнению опор:

В – на п/ш качения (для высокооборотного бурения);

Н – на 1 п/ш скольжения, остальные качения (для низкооборотного бурения);

НУ – на 1 п/ш скольжения с герметизацией уплотнительными кольцами и резервуарами для смазки;

АУ – на 2-х и более п/ш скольжения с герметизацией, маслonaполненные.

Модификация включает несколько моделей, которые отличаются между собой размерами (диаметр, высота).

Вооружение на шарошках располагается концентрическими венцами, которые разделены между собой проточками.

Боковая стенка зуба является гранью. Грань, расположенная в сторону направления вращения долота называется набегающей, а противоположная ей – сбегаящей. Линия пересечения обеих граней называется рабочей кромкой.

Все долота в зависимости от твердости и абразивности разбуриваемых пород делятся на 13 типов, указанных в таблице 1.

Верхняя часть зуба при рабочей кромке называется вершиной зуба, противоположная, сопряженная с телом шарошки – основанием зуба. Кратчайшее расстояние от основания зуба до его кромки называется высотой.

Ширина продольной выемки, т.е. расстояние между одноименными элементами, называется шагом зубьев.

Все венцы шарошки имеют буквенное обозначение А; Б; В; Г.

Венец, расположенный у основания шарошек называется периферийным.

Шарошки нумеруют в зависимости от числа зубьев на венце А.

Первая шарошка имеет наименьшее число зубьев. Третья наибольшее число зубьев.

В зависимости от типа долот высота и шаг зубцов уменьшаются, а угол при вершине зубца – увеличивается. У долот типа М – число венцов у шарошки наименьшее; типа Т – наибольшее.

Многими специалистами давно сформировано многообразие существующих схем опор шарошек, из них наиболее распространены: схема №1 – роликовый-шариковый – 1 подшипник скольжения; схема №2 – роликовый – шариковый – роликовый подшипник; схема №3 – 3 шариковых подшипник; схема №4 – 2 шариковых, роликовый подшипник.

Таблица 1– Типы шарошечных долот

№	Обозначение	Твердость пород	Литологический состав пород	Вооружение
1	М	Мягкие	Глины с прослоями песков, алевролитов	Зубчатое (задано с телом шарошки)
2	МЗ	Мягкие абразивные	Чередование аргиллитов, алевролитов, окварцованных песчаников, глинистых сланцев	Вставные твердосплавные зубки
3	МС	Мягкие с пропластками средней твердости	Глины, аргиллиты с прослоями песчаников	Заодно с телом шарошек
4	МСЗ	Мягкие абразивные с пропластками средней твердости	Чередование аргиллитов известковистых	Вставные зубья и выполненные заодно с телом шарошки
5	С	Средней твердости	Известняки и доломиты с прослоями глин и аргиллитов	Зубья заодно с телом шарошек
6	СЗ	Абразивные средней твердости	Переслаивание глин с включением гипса и ангидрита с аргиллитами и алевролитами	Вставные зубья
7	СТ	Средние с пропластками твердых пород	Известняки, доломиты, переслаивание глин алевролитистых, алевролитов, песчаников, аргиллитов известковистых	Фрезерованные зубья
8	Т	Твердые	Известняки, доломиты с прослоями глин и включениями ангидритов	Фрезерованные зубья
9	ТЗ	Твердые абразивные породы	Известняки, участками окремненные, доломитизированные	Вставные зубья
10	ТК	Твердые с пропластками крепких пород	Известняки, доломиты, окремненные с прослоями мергелей	Фрезерованные и вставные зубья
11	ТКЗ	Твердые абразивные с пропластками крепких пород	Известняки, доломиты, аргиллиты окремненные, алевролиты, песчаники кварцевые	Вставные зубья
12	К	Крепкие	Песчаники кварцевые с прослоями аргиллитов	Вставные зубья
13	ОК	Очень крепкие	Кварцевые песчаники с прожилками кварца	Вставные зубья

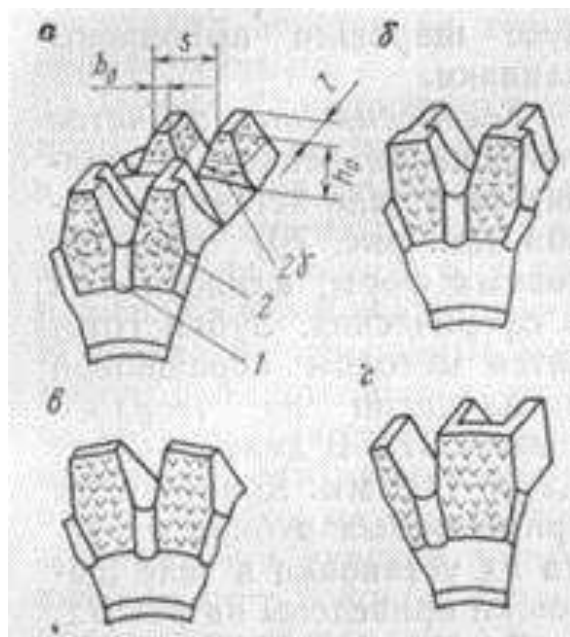


Рисунок 1.11 – Размеры зуба шарошки

В каждой опоре обязательно имеется один или два шариковых подшипника, который называется радиально-упорный замковый. Выбор схемы опоры зависит от размера шарошек и условий работы долота. При бурении мягких и средней твёрдости пород требуются небольшие нагрузки – применяется схема 3. При разбурировании более твёрдых пород необходимо увеличивать нагрузку на долото – применяются схема 2 и 4. Для бурения крепких при больших нагрузках на долото и небольшой частотой вращения – применяется схема 1.

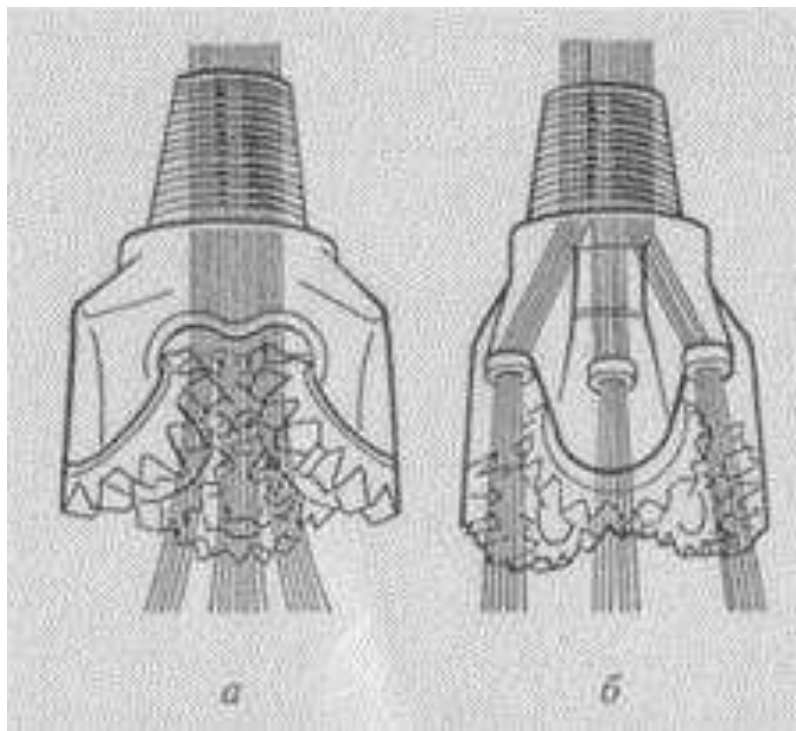
В буровом процессе технический раствор протекает в опору долота через зазор между основанием шарошки и упорной поверхностью в цапфе. Поэтому буровой раствор можно использовать как смазывающее средство, если вводить смазывающие добавки.

Для того, чтобы увеличить срок службы опоры, разработаны специальные долота с герметизированной маслonaполненной опорой. В зависимости от промывочных устройств различают долота (рисунок 1.12):

1) с центральной промывкой – буровой раствор через центральное отверстие подаётся на вершины шарошек, при этом охлаждает шарошки и очищает их от шлама;

2) с боковой (гидромониторной) промывкой. Промывочные каналы в этих долотах расположены между шарошками под углом 120° .

Такое расположение каналов позволяет обеспечивать лучшее охлаждение и хорошую очистку шарошек.



а – с центральной промывкой; б – с гидромониторной промывкой

Рисунок 1.12 – Конструкция промывочных каналов
трёхшарошечного долота

Гидромониторный эффект создаётся за счёт вставных насадок. Регулируя внутренний диаметр насадок, можно изменять и скорость истечения жидкости ($100 \div 120 \text{ м/с}$). Механическая скорость таких долот выше, чем у долот с центральной промывкой, т.к. за счёт гидромониторного эффекта происходит дополнительно размывание породы на забое.

В зависимости от конструкции корпуса шарошечные буровые долота разделяются на секционные и корпусные.

В секционных корпус сваривается из отдельных (двух, трёх или четырёх) лап, на цапфах которых монтируются шарошки;

в корпусных – корпус литой, к нему привариваются лапы со смонтированными на их цапфах шарошки.

Для присоединения бурового долота к бурильной колонне у секционных долот предусматривается наружная конусная резьба (ниппель), у корпусных – внутренняя конусная резьба (муфта).

1.7 Конструктивные элементы современных шарошечных долот

До сих пор модернизация бурового сооружения остаётся востребованным и актуальным направлением. Разработанные в последние годы конфигурации шарошечных долот по своим типоразмерам способны удовлетворить самые широкие запросы потребителей. В частности, впервые в мировой практике разработаны шарошечные микродолота диаметром 46 и 59 мм.

Для повышения ресурса долот в их конструкции используются опоры скольжения и вооружение шарошек твёрдосплавными зубками. Для наиболее тяжёлых условий эксплуатации разработаны долота с элементами герметизации опор.

Шарошечное долото представляет собой механизм из сваренных между собой лап, на цапфах которых на тела качения или скольжения вращаются оснащённые вооружением в виде твёрдосплавных зубков или фрезерованных зубьев шарошки. В корпусе долота выполняются промывочные устройства для подачи через них на забой промывочной жидкости.

На наружной поверхности ниппеля, образованного хвостовиками лап, нарезается присоединительная замковая резьба. С целью предотвращения потери диаметра долота спинки и козырьки лап могут армироваться износостойким материалом. Для обеспечения работы опоры в смазке шарошки на цапфе герметизируются уплотнительным устройством, а в

корпусе устанавливается компенсирующее устройство, заполненное смазочным материалом.

В зависимости от механических свойств горных пород долоту необходимо придать качество, обеспечивающее наибольшую эффективность разрушения породы (резанием, дроблением, дробящескалывающим, режущескалывающим, истирающим действием) при наименьших энергетических затратах. Так, с увеличением смещения осей шарошек в плане, проскальзывание зубьев по породе забоя увеличивается, а, следовательно, увеличивается эффект резания породы.

В данном разделе приводится описание конструктивных элементов современных долот основных российских и зарубежных производителей породоразрушающего инструмента.

На сегодняшний день в мире серийным производством шарошечных долот занимаются около 20 фирм.

Из них лидирующие места по техническому уровню и качеству выпускаемой продукции принадлежит ведущим западным фирмам. Например, фирмы США: Hughes Christensen, Smith, Reed, Security DBS. Последнее время к ним приближается фирма Varel. В России и СНГ основными являются прежние производители долот: ОАО «Волгабурмаш», ОАО «Уралбурмаш», ОАО «СМЗ», ОАО «ДДЗ» (Украина).

Среди них приоритетную позицию занимает ОАО «Волгабурмаш», выпускающее практически полную гамму современных конструкций долот с герметизированной опорой, в ряде случаев, успешно конкурирующих с долотами фирмы Varel и ведущих зарубежных фирм.

Кроме того, шарошечные долота в меньших объемах выпускаются такими фирмами США, как RockBit, Walker-McDonald и др, а также фирмами Японии (TIX), Румынии (Industrial), Венгрии (DKG), Китая (Kingdream PLC) и других стран.

Вооружение современных шарошечных долот представлено двумя большими классами: шарошки с фрезерованными стальными зубьями и шарошки с твердосплавными вставными зубками.

Однако необходимо отметить, что в последние годы предпринимаются успешные попытки объединить преимущества обоих классов в одной конструкции. Примером этого являются долота, выпускаемые фирмой Reed по технологии РМС (PowderMetalCutter), шарошки которых, выполненные методом порошковой металлургии, имеют зубья, по своей геометрии аналогичные фрезерованным, но полностью облицованные твердым сплавом типа ВК. Из-за своей сложности данная технология пока не получила широкого распространения, хотя достоинства её очевидны.

В настоящей главе рассматриваются наиболее интересные современные решения в области вооружения шарошечных долот.

Твёрдосплавное вооружение современных шарошечных долот отличается большим разнообразием форм твёрдосплавных зубков и применением новых материалов для их изготовления, а также решениями по размещению зубков на поверхности шарошек.

Несмотря на то, что современные долота с твёрдосплавным вооружением в состоянии успешно разбуривать любые горные породы - от мягких до очень крепких, фрезерованные долота продолжают находить широкое применение.

Стойкость опор шарошечных долот всегда являлась основным фактором, определяющим их долговечность.

Большинство шарошечных долот, выпускаемых различными фирмами мира, имеют две основные схемы промывки — центральную или боковую (гидромониторную). При этом стандартной является боковая промывка через сменные гидромониторные насадки. Вариантами боковой промывки является промывка через мини удлинённые и удлинённые (приближенные к забою) насадки. При этом мини удлинённые насадки, имея длину, в 2,5-4 раза превосходящую длину стандартной насадки, взаимозаменяемы с ними по

посадочным размерам, т. е. в одно гнездо гидромониторного канала долота может устанавливаться как стандартная, так и мини удлиненная насадка. Как стандартные, так и мини удлиненные насадки производства зарубежных фирм изготавливаются, как правило, из вольфрамкобальтового твердого сплава, обеспечивающего необходимую износостойкость насадок даже в условиях прокачки через них скоростных потоков промывочной жидкости с большим содержанием абразивных частиц.

Максимально удлиненные насадки состоят из стальных приварных патрубков, подводящих промывочную жидкость к забою скважины. На выходе насадок установлены стандартные или мини удлиненные твердосплавные гидромониторные насадки. Наружные поверхности патрубков, обращенные к стенкам скважины для предохранения от абразивного износа, как правило, армируются износостойкой наплавкой на основе карбида вольфрама или (и) твердосплавными зубками.

Центральная промывка через округлое отверстие в центре долота (в котором может устанавливаться насадка) обычно применяется в долотах малого диаметра с негерметизированными опорами. В долотах диаметром более 200 мм может применяться комбинированная промывка, сочетающая боковые и центральную гидро-1 мониторные насадки. Использование центральной насадки предотвращает налипание породы на шарошки (сальникообразование) и обеспечивает лучшую очистку забоя и повышение механической скорости бурения.

Центральные насадки могут быть как обычной цилиндрической, так и диффузорной формы (насадки Vortex фирмы HughesChris-tensen). Диффузорные насадки увеличивают турбулентность потока, устраняя застойные зоны на забое скважины, улучшают очистку шарошек и одновременно снижают возможность эрозии тела шарошек, обычно наблюдаемой при использовании стандартных центральных насадок.

ОАО «Волгабурмаш» применяет в некоторых своих долотах комбинированную промывку через патентованные удлиненные щелевые

боковые насадки и трёхщелевую центральную насадку, направляющие струи промывочной жидкости между шарошками. Щелевые насадки изготавливаются из специального износостойкого легированного чугуна.

Вариантом боковой промывки является асимметричная схема промывки с использованием двух мини удлинённых насадок. При этом гидромониторный узел на третьей лапе долота отсутствует, что даёт увеличение площади проходного сечения вокруг долота и способствует более эффективному выносу шлама.

При всем существующем многообразии вариантов крепления гидромониторных насадок наибольшее распространение получили три способа:

- Пружинным кольцом (фирмы HughesChristensen, Reed и Varel) причем пружинное кольцо может устанавливаться как открыто, у торца насадки (стандартный вариант), так и скрытно, в канавке насадки (вариант для осложненных условий бурения), что предохраняет его от размыва и выпадения.

- Резьбовым переходником (фирма Smith).

- Обводным шплинтом (гвоздем) — фирмы Security DBS, ОАО «Волгабурмаш».

Уплотнение насадки во всех случаях осуществляется резиновым кольцом круглого сечения.

1.8 Материалы для изготовления шарошечных долот

1.8.1 Стали, применяемые для изготовления шарошечных долот

Процесс увеличения глубины скважин определяют долговечность шарошечных долот. Они, в свою очередь, характеризуют эффективность углубления скважин. Прочностные и износостойкие параметры во многом определяются правильным выбором и качеством

сталей и других конструкционных и упрочняющих металлов и сплавов, резин и смазок.

Известным фактом значится использование долот в исключительно тяжёлых агрессивных условиях, подбор сталей и других материалов должен быть строго дифференцирован для каждого отдельного элемента долота (От тел качения и подшипников скольжения до корпусов лап, шарошек и армирующих твёрдосплавных наплавов).

Таблица 2 - Стали, применяемые для изготовления деталей долот

Наименование детали	Диаметры долот, мм	Марка стали	ГОСТ, ТУ
Шарошка фрезерованным вооружением	Все размеры	15НЗМА	Ту 3 - 102-80
Шарошки штыревые	Все размеры	14ХНЗМА	ТУ 3-102-80
Лапа	До 244,5	15НЗМА	ТУ 3-102-80
Лапа	244,5 и более	19ХГНМА	ТУ 3-102-80
Втулка малая	Все размеры	14Х17Н2	ГОСТ 5949-75
Подпятки	Все размеры	P6M5	ГОСТ 19265-73
Шары, ролики	Все размеры	55СМ5ФА-ШД	ТУ 14-1-2666-79

Опора лапы долота — цапфа, на которой вращается шарошка. Большие статические и динамические нагрузки воздействует на неё в скважине. Особенности условий работы цапфы характеризуются контактно-усталостным изнашиванием в случае негерметизированной опоры. Поэтому сталь, которую следует использовать для изготовления лапы долота, должна обеспечивать высокую прочность и вязкость в сочетании с высокой контактной выносливостью и хорошей износостойкостью. Кроме этого, конструкция буровых долот обеспечивается хорошей свариваемостью материала лап.

Таблица 3 - Стали для изготовления лап и шарошек по ОСТ 26-02-1315-84

Наименование детали	Диаметр долота, мм	Марка стали	Номер ТУ
Долото с опорой скольжения			
Шарошка	46,0-212,7	17НЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	215,9-295,3	16ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	311,1 и более	18ХНЗМА	ТУ 3-859-80
Лапа	46,0-151,0	14ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	158,7-212,7	22ХГНМА-Ш	ТУ 3-35-79
	215,9	22ХГНМА-Ш	ТУ 3-35-79
		14ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	222,3-295,3	22ХГНМА	ТУ 3-35-79
	311,1 и более	14ХНЗМА 14Х2НЗМА	ТУ 3-850-80
Долото с опорой качения			
Шарошка	112,0-190,5	17НЗМА-Ш	ТУ3-398-79
	215,9-295,3	16ХНЗМА-Ш	ТУ3-398-79
		16ХНЗМФА	ТУ3-195-83
	311,1 и более	18ХНЗМА	ТУ 3-850-80
Лапа	112,0-190,5	14ХНЗМА-Ш	ТУ3-938-79
	215,9-295,3	14ХЗМА-Ш	ТУ3-938-79
	311,1 и более	14ХНЗМА	ТУ3-195-83
		14Х2НЗМА	ТУ 3-850-80

К материалу корпуса шарошки, особенно с твёрдосплавным вооружением, предъявляются строгие требования. Объясняется тем, что корпус непременно должен надёжно удерживать твёрдосплавные зубки, которые закрепляются в отверстиях шарошки способом холодной запрессовки.

За рубежом большинство ведущих фирм-изготовителей шарошечных долот использует для изготовления лап сталь AISI 4815H (отечественный аналог — сталь 15НЗМА) или AISI 8720 (аналог 19 НМА). В зависимости от диаметра долота делается оптимальный выбор стали.

Для изготовления фрезерованных шарошек — сталь AISI4815H, штыревых шарошек — сталь AISI 9315H (аналог — сталь 14XH3MA).

Для изготовления тел качения применяется сталь AISI S2 (аналог — 55CM5ФА).

1.8.2 Изготовление зубков долот

Особо важным материалом в производстве высококачественных шарошечных долот являются вольфрамокобальтовые твёрдые сплавы. Они применяются для изготовления зубков и армирования зубьев фрезерованных шарошек, козырьков лап и других частей долота, подвергающихся в процессе работы абразивному износу.

В соответствии с ОСТ 26-02-1315-84 твёрдосплавные зубки должны изготавливаться из сплавов марок: ВК4-В, ВК8-ВК и ВК11-ВК. Из сплавов ВК4-В и ВК8-ВК изготавливаются зубки формы Г-54 с плоской вершиной, что используются для армирования обратных конусов шарошек и козырьков лап. Сплав ВК11-ВК позволяет изготавливать зубки всех остальных форморазмеров: от Г26 со сферической головкой, что применяются в долотах при бурении очень крепких пород, до клиновидных типа М, что применяются в долотах для бурения мягких абразивных пород.

ОАО «Волгабурмаш» в своих долотах, изготавливаемых по лицензии фирмы Dresser (США), применяет зубки собственного производства из сплавов марок ВК10, ВК13 и ВК16.

Америкацы (фирмы-производители), как правило, имеют собственные твёрдосплавные производства и более широкий выбор марок твёрдых сплавов. Ведущие американские фирмы способны изготавливать большой диапазон зубков самых разнообразных форм и размеров. Так, фирма HughesChristensen имеет в своём распоряжении более двадцати пяти марок твёрдых сплавов от ВК6 до ВК18, причём многие марки сплавов с

одинаковым химическим, но различным гранулометрическим составом могут значительно отличаться по своим физико-механическим свойствам.

Таблица 4 – Твёрдые сплавы для изготовления зубков долот

Марка сплава	Твердость, HRA	Содержание кобальта,	Зернистость	Предел прочности,	Абразивная стойкость, 1/ потеря	Трещиностойкость, DCB	Рекомендуемое применение
1	2	3	4	5	6	7	8
307	91	7	Среднезернистый	3380	15,6	11500	Горнорудное
P40	91,2	6	Среднезернистый	2900	15	11000	Высокая износостойкость
295	90,8	6	Среднезернистый	275	14,1	11000	Высокая износостойкость
671	90,5	6	Среднезернистый	240	13	11100	Умеренная до высокой износостойкость
248	89,8	11	Мелкозернистый	100	7	12500	Зубки с небольшим вылетом
M09	89,6	9	Среднезернистый	970	10	12500	Гидромониторные насадки
779	89,5	9	Среднезернистый	170	10	13000	Износостойкость выше, чем у марки 241
91	89,2	5	Среднезернистый	100	6,2	13000	Износостойкость выше, чем у марки 241
284	83,2	1	Мелкозернистый	780	6,6	12600	Износостойкость выше, чем у марки 241
90	89	0	Среднезернистый	3240	7	13200	Для средних ударных нагрузок
251	88,7	10	Среднезернистый	3100	6,4	13200	Износостойкость выше, чем у марки 241
258	88,6	13	Мелкозернистый	3240	5	12700	Умеренная трещиностойкость и износостойкость
241	88,5	10	Среднезернистый	3240	6	14000	Нефтяные долота, хорошая стойкость к поломкам
941	88,6	11	Среднезернистый	3310	5,5	16000	Трещино-стойкость выше, чем у марки 241
240	88,2	10,25	Среднезернистый	3310	5,6	16600	Зубки с малым до среднего

Продолжение таблицы 4

122	87,9	12	Среднезерн .	3380	5,6	17100	Высокая трещиностойкость и износостойкость
231	87,8	10	Крупнозерн .	3000	5,1	17100	Зубки со средним вылетом
931	87,8	11	Крупнозерн .	2900	5,5	18500	зубки со средним и большим вылетом
222	87,5	0	Крупнозерн .	2900	4	17000	Стойкость к поломкам выше, чем у марки 231
244	87	10,5	Крупнозерн .	2720	3,4	16700	Высокая трещиноватость и ударные нагрузки
55B	86,6	16	Среднезерн .	2900	3	15600	Хорошая стойкость к поломкам
120	86,5	2	Крупнозерн .	2900	5	17300	Зубки с большим вылетом
147	86	14	Крупнозерн .	3240	2,5	18000	Прочность выше, чем у марки 55B
239	86	18	Среднезерн .	3240	2,2	18400	Трещиностойкость выше, чем у марки 55B, износостойкость выше
45B	85,5	16	Крупнозерн .	2900	2,7	160000	Трещиностойкость выше, чем у марки 55B
40B	5	16	Крупнозерн .	3100	2,4	16400	Высокая трещиностойкость
Свойства твёрдых сплавов по ТУ 48-19-281-88							
ВК8 ВК	8,3	8	Среднезерн .	более 1860	-	-	-
ВК11 ВК	87,5	11	Среднезерн .	более 2110	-	-	-

Разнообразие свойств позволяют более точно подбирать марку сплава для изготовления зубков той или иной формы с целью более эффективного разрушения конкретных горных пород (табл. 4).

Как видно из таблицы характеристик твёрдых сплавов, кроме привычных твёрдости и прочности при поперечном изгибе используются такие важные параметры, как стойкость к абразивному износу и трещиноватости. Все, без исключения, зубки проходят газостатическую обработку, обеспечивающую повышение стабильности качества зубков за счёт исключения пористости.

Все лидирующие компании освоили, аналогично фирме Smith, производство алмазно-твёрдосплавных зубков, причём не только с плоской, но и с объёмной, вплоть до клиновидной, рабочей поверхностью и успешно применяют их для оснащения долот, предназначенных для бурения особо абразивных пород, где износостойкость обычных твердых сплавов недостаточна.

В отличие от сталей для изготовления лап и шарошек и твердых сплавов для изготовления зубков, материалы, применяемые в большом подшипнике скольжения долот с герметизированной опорой более разнообразны. И если рабочую (нагруженную) поверхность цапфы большинство производителей долот наплавляет твердым сплавом типа стеллит (отечественные аналоги — 3В16К, 3В14К-Б) то ответная поверхность шарошки (или промежуточной втулки) отличается как конструкцией, так и материалом.

Наиболее простой вариант использует в своих долотах фирма HughesChristensen, когда стальные рабочие поверхности трения в шарошке покрываются слоем серебра.

Фирмы Smith и Reed используют в большом подшипнике скольжения плавающую разрезную втулку, также покрытую серебром с обеих сторон.

В долотах фирмы Smith большая и малая втулки а также плавающая упорная шайба, изготовлены из патентованного сплава Spinodal, представляющего собой никель-оловянистую бронзу, а фирма Reed втулку изготавливает из бериллиевой бронзы. Также из бериллиевой бронзы выполнена большая втулка в долотах фирмы Varel. Втулка запрессована в шарошку, внутренняя поверхность может покрываться серебром. В долотах фирмы Security DBS запрессованные в шарошку большая и малая втулки изготавливаются методом порошковой металлургии из порошка легированной Сталин пропитываются серябряно-марганцевым сплавом, содержащим 85 ск серебра. Рабочие поверхности втулок также покрываются серебром.

В долотах ОАО «Волгабурмаш» большая втулка комбинированная — имеет стальной корпус, на внутреннюю поверхность которого напрессовывается порошок стеллита и железа и пропитывается при спекании оловянисто-свинцовой бронзой. Внутренняя поверхность втулки может покрываться серебром.

Для изготовления уплотнительных элементов опор долот, преимущественно в виде колец разнообразного сечения — от круглой (в долотах HughesChristensen, Smith и Varel) до прямоугольной волнистой (Security DBS) или текстурированной (Reed) рабочей поверхностью, фирмы-производители применяют гидрогенизированную высоконасыщенную нитрильную резину (HNBR или HSNBR). Отечественные производители долот используют нитрильную резину (NBR).

1.9 Патентно-информационный обзор

1.9.1 Патент № 2515795

Известна конструкция бурового шарошечного долота, патент № 2515795, которая включает в себя двухконусные шарошки, у которых рабочие поверхности зубчатого вооружения конусов при вершинах шарошек в месте контакта с забоем выполнены перпендикулярно оси долота, а рабочие поверхности зубчатого вооружения периферийных конусов согласованы с образующей этих конусов. В таком случае более $\frac{3}{4}$ площади забоя разрушается менее эффективным способом без нормального приложения нагрузки и скола формирующейся ступенчатой поверхности забоя.

Целью изобретения является повышение показателей эффективности работы долота, а именно увеличения механической скорости бурения.

Указанная цель достигается тем, что в известном двухшарошечном долоте, а также одно- и многошарошечных долотах, включающих многоконусные шарошки, рабочая поверхность зубчатого вооружения

каждого венца в месте контакта с забоем выполняется перпендикулярной оси долота, образуя между вооружением шарошек ступенчатую поверхность. В конструкцию шарошек вводятся венцы, рабочая поверхность каждого зуба которых в месте контакта с забоем перпендикулярна оси долота. Это позволяет увеличить нагрузку разрушения за счет уменьшения площади контакта долота с породой, а также формировать на забое многоступенчатую поверхность, которая разрушается с меньшими энергетическими затратами в силу скола края ступеньки. Указанные изменения обеспечивают увеличение скорости бурения.

Увеличение удельной контактной нагрузки для повышения скорости бурения вполне реализуемо при уменьшении площади контакта зуба с поверхностью забоя. При постоянстве притупления зуба снизить площадь контакта можно уменьшив длину его рабочей поверхности, что достигается размещением этой поверхности в плоскости, перпендикулярной оси долота в месте контакта его с забоем в рамках многоконусности шарошек (рис. 1.13). Исследования по разрушению ступеньки указывают на то, что размещение рабочих поверхностей вооружения отдельных венцов в плоскостях, перпендикулярных оси долота, находящихся на разных уровнях, может способствовать повышению эффективности бурения за счёт скола части формируемой при этом ступеньки. Сама ступенька разрушается с меньшими энергетическими затратами, чем плоский забой.

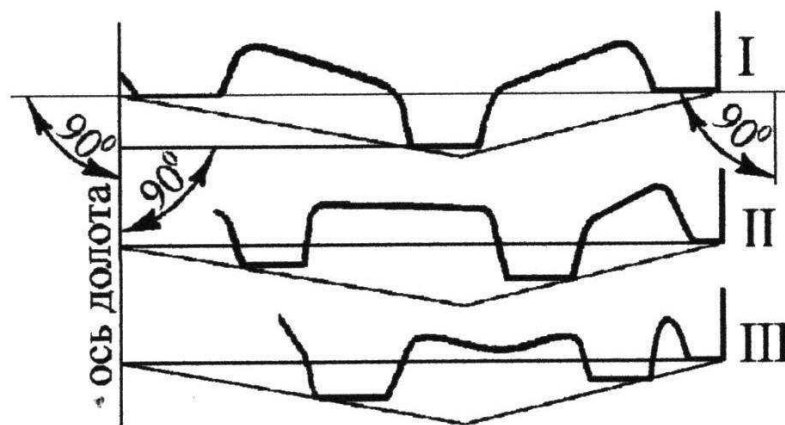


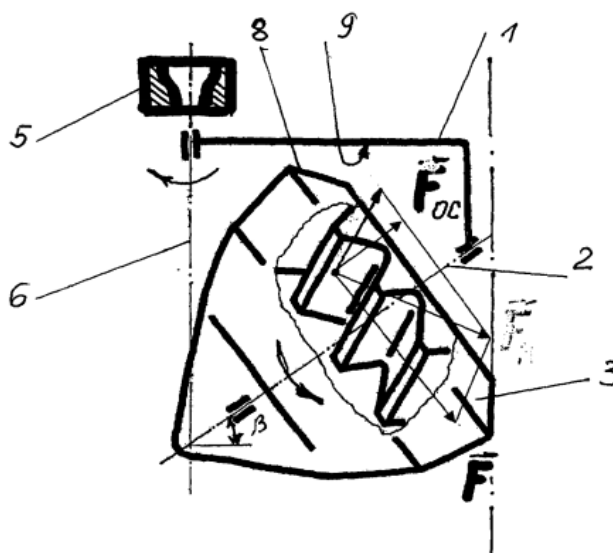
Рисунок 1.13 – схема поражения забоя

Буровое шарошечное долото содержит лапы 1 с наклонными цапфами 2, на которых посредством подшипников установлены конические шарошки 3 с фрезерованными или литыми зубьями 4. У всех шарошек 3 зубья 4 венцов выполнены косыми, т.е. с наклоном к ее образующей под углом α , равным 5-45°, при этом меньшее значение угла наклона соответствует большему значению угла наклона цапфы 2 к вертикальной оси долота. В процессе бурения промывочная жидкость, прокачиваемая через центральный промывочный узел 5, расположенный по оси 6 долота, направляет разрушенную породу в сторону стенок скважины и далее в межшарошечную полость 7. При этом часть шлама попадает в полость между обратными конусами 8 шарошек 3 и нижним торцом 9 корпуса 1, образуя шламовую пробку. Это в ряде случаев, особенно при бурении по глинистым породам, может привести к заклиниванию шарошек 3. Для исключения этого явления и более эффективного удаления шлама с забоя скважины используются шарошки 3 с определенным наклоном зубьев 4, боковые грани которых создают усилие F , большая часть составляющей которого $F_{ос}$ ориентирована в сторону устья скважины и межшарошечную полость 7. При этом суммарная осевая составляющая усилия одновременного механического воздействия всех косых зубьев 5 на гидравлическую среду (шлам) забоя для каждой шарошки 3 должна быть одинаковой и направлена в сторону от центра к периферии.

Принцип работы бурового долота заключается в следующем. При вращении долота шарошки 3 перекатываются с одновременным проскальзыванием по поверхности забоя и разрушают породу под воздействием осевой нагрузки и крутящего момента. Выполнение долота с косыми зубьями способствует повышению эффективности разрушения горных пород за счет проскальзывания зубьев 4 относительно забоя. Особенно это касается пластичных пород. Разрушенная порода, благодаря

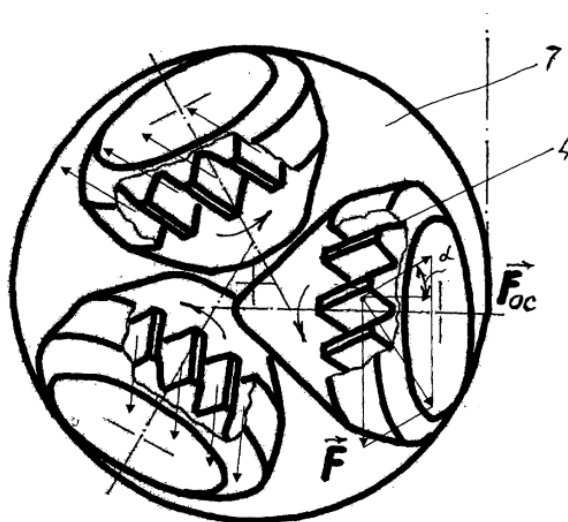
выполнению венцов шарошек 3 с зубьями 4, имеющими наклон относительно образующей шарошки 3, при выходе зубьев 4 из контакта с поверхностью забоя, направляется в сторону периферии (направление движения потока показано на рис. 1.15 стрелками). Там она подхватывается промывочной жидкостью и наклонными зубьями 4, которые выполняя функцию шнековых лопастей, подают обогащенную шламом промывочную жидкость через межшарошечную полость 7 в затрубное пространство и далее на поверхность. При этом, благодаря выполнению шарошек 3 с одинаковой рабочей поверхностью для выноса шлама, исключается создание на забое турбулентных потоков, что в свою очередь гарантирует равномерное удаление шлама с забоя скважины и исключает образование шламовых пробок. Это позволяет избежать повторного измельчения шлама и тем самым уменьшить износ вооружения, а, следовательно, и увеличение проходки на долото и рост механической скорости бурения.

Таким образом, предложенное долото благодаря более качественной очистке забоя от шлама позволяет повысить эффективность работы долота и тем самым снизить затраты на буровые работы.



1 – корпус; 2 – цапфа; 3 – шарошки; 4 – зубья; 5 – промывочный узел; 6 – ось долота; 7 – межшарошечная полость; 8 – обратные конусы; 9 – нижний торец

Рисунок 1.14 – общий вид долота



4 – зубья; 7 – межшарошечная полость

Рисунок 1.15 – вид на шарошки долота сверху

1.9.3 Патент № 2513650

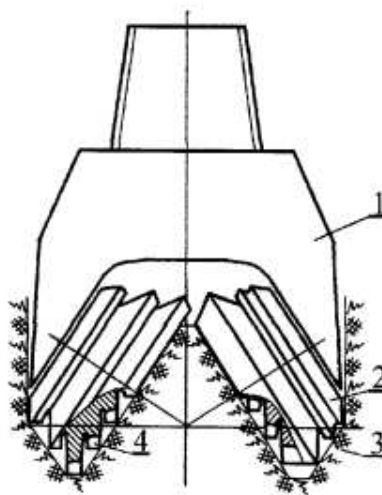
В известном многоступенчатом шарошечном буровом инструменте (долоте) при его работе разрушение разбуриваемых горных пород производится вдавливанием вооружения отдельных венцов периферийных конусов в поверхность забоя с минимальным скольжением (резанием) по касательной в плоскости забоя, с аналогичным разрушением ступенчатым вооружением ближних к оси долота конусов, включая частичный скол (разрушение резанием) в вертикальном направлении ступенек в процессе их формирования. Периферийными конусами производится разрушение 3/4 площади забоя. Ввиду слабоэффективного ступенчатого разрушения горных пород вооружением шарошек, ближних к оси инструмента, конусами и низкоэффективного разрушения бесступенчатого вооружения периферийных конусов шарошки, буровой инструмент производит малоэффективное продвижение забоя с повышенными энергозатратами.

Целью изобретения является увеличение механической скорости бурения за счет увеличения объема разрушения резанием в горизонтальном направлении и вводом в процесс бурения разрушения горной породы

резанием в вертикальном направлении путем образования боковой открытой ступенчатой поверхности со ступеньками, полностью разрушаемыми в процессе их формирования.

Указанная цель достигается тем, что в известном многоступенчатом шарошечном буровом инструменте отдельный опережающий венец любой шарошки удален от последующего другой шарошки по оси долота на $0,04-0,06D$ с шириной ступеньки $0,02-0,04D$, где D - диаметр инструмента, с сохранением этих соотношений на внешних конусах шарошек.

Сочетание удаленности по оси бурового инструмента опережающих венцов любой шарошки от последующих в $0,04-0,06D$ и ширины ступеньки $0,02-0,04D$ создает такие обстоятельства разрушения забоя, когда ступенчатая поверхность разрушается в процессе ее формирования, что обеспечивает благоприятные условия для работы вооружения инструмента с минимальными затратами энергии на разрушение горной породы



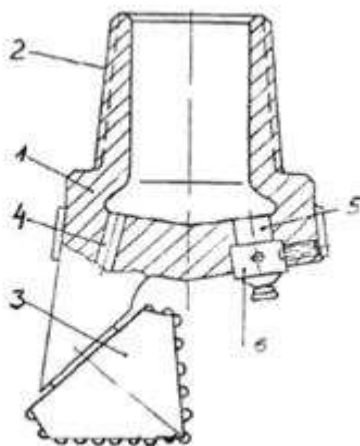
1 - лапа шарошечного бурового инструмента; 2 - шарошка; 3 - вооружение венцов шарошек (зубки); 4 - горные породы, слагающие забой.

Рисунок 1.16 - многоступенчатый шарошечный буровой инструмент

пружинным разрезным кольцом 13 или кольцевой пружиной растяжения (не показано). Выходная часть трубчатого элемента 10 выполнена в виде конического раструба 14, предохраняющего в процессе работы стопорное кольцо 13 от выпадения. Направляющая 9 обратного клапана 6 выполнена с продольными пазами 15 на наружной поверхности, перекрытыми в исходном (транспортном) положении трубчатым элементом 10 и предназначенными для прохода очистного агента. При этом благодаря различной форме продольных пазов 15 можно широко варьировать и схемой очистки забоя от шлама в зависимости от физико-механических свойств разбуриваемых пород и типоразмера долот. В верхней части запорного органа 9 расположен диск 24 с каналами 17 и направляющими выступами 18, обеспечивающими сохранность заданной схемы очистки забоя от шлама. Выступы 18 диска 24 размещают в пазах 19 на внутренней поверхности защитного корпуса 7, закрепленного в канале лапы 1 стопорным элементом, например, штифтом 20, установленным в совмещенных радиальных каналах 21 и 22 соответственно лапы 1 и защитного корпуса 7. Подпружиненная направляющая 9 зафиксирована от перемещения вверх пружинным разрезным стопорным кольцом 23, устанавливаемым в кольцевой расточке защитного корпуса 7.

В процессе бурения поток газообразного агента, в котором могут быть распылено смазывающе-охлаждающее вещество (например, масло), проходит через ниппель 2, продувочные каналы 5, каналы 17 диска 24, продольные пазы 15 и поступает в полость обратного клапана 6. При этом под действием нисходящего потока сжатого воздуха направляющая 9 перемещается вниз и, воздействуя своим коническим торцом на конический участок 16 эластичного трубчатого элемента 10, растягивает его, образуя канал для подачи очистного агента на забой. Одновременно разжимается и кольцо 13, служащее дополнительным запором для трубчатого элемента 10. Необходимость использования дополнительного стопорного кольца связано с потерей эластичных свойств трубчатого элемента 10 в процессе работы. В

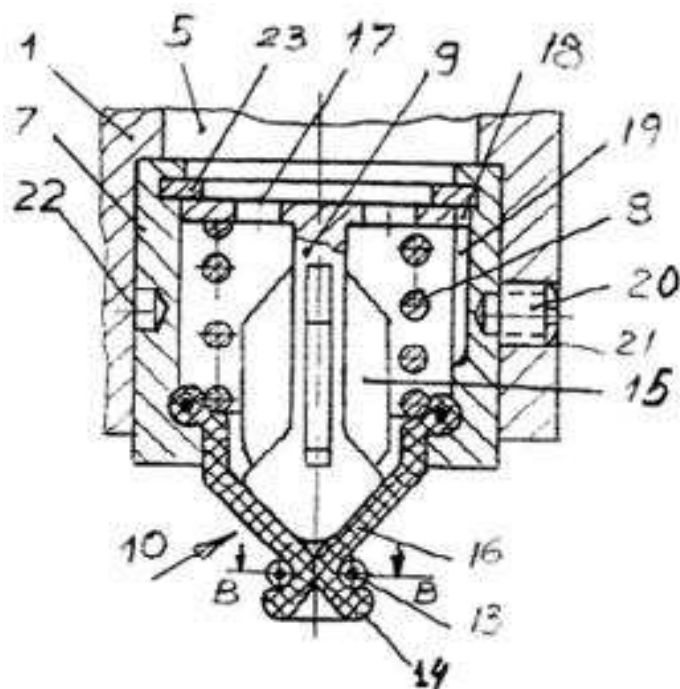
связи с этим усилия эластичного трубчатого элемента 10 бывает недостаточно для надежной герметизации полости защитного корпуса 7. В процессе работы долота эластичный трубчатый элемент 10 удерживается в раскрытом положении направляющей 9, которая выходит за нижний торец трубчатого элемента 10.



1 – лапы; 2 – ниппель; 3 – шарошки; 4 – опоры шарошки; 5 – продувочные каналы; 6 – обратные клапаны

Рисунок 1.18 – общий вид долота

В случае отключения источника подачи сжатого воздуха направляющая 9 под действием пружины 8 поднимается вверх, трубчатый элемент 10 охлопывается, принимая первоначальную форму и перекрывая доступ шлама в ниппельную полость долота, а, следовательно, и в его опоры. При этом частицы шлама, попавшие между плоскими гранями 12, утапливаются в эластичном материале и контактирующие плоскости 12 плотно прилегают одна к другой под воздействием как сил упругости материала, так и под действием пружинного кольца 13. При бурении по водоносным горизонтам этому способствует также и гидростатическое давление столба жидкости, находящейся в скважине. При износе обратного клапана или его элементов они могут быть легко заменены запасными непосредственно на буровой. Применение предложенного долота позволяет повысить эффективность буровых работ.



1 – лапы; 5 – продувочные каналы; 7 – защитный корпус; 8 – пружина сжатия; 9 – направляющая; 10 – трубчатый элемент; 13 – стопорное пружинное разрезное кольцо; 14 – конический раструб; 15 – продольные пазы; 16 – конический участок; 17 – каналы; 18 – направляющие выступы; 19 – пазы; 20 – штифт; 21, 22 – радиальные каналы; 23 – пружинное разрезное стопорное кольцо

Рисунок 1.19 - продольный разрез обратного клапана

1.10 Выводы

В данной главе систематизирована основная информация по конструкциям, вариантам исполнения, узлам шарошечных долот, а также проведён патентно-информационный обзор конструкций, позволяющий судить о тенденциях и прогрессии развития в области бурового снаряжения.

В результате патентного обзора, можно сказать, что разработка конструкций, улучшения технических параметров шарошечных долот и их надёжности на сегодняшний момент является актуальной темой исследований.

В приведённых патентах были приведены плюсы совершенствования породоразрушающего инструмента, а именно:

- увеличение механической скорости бурения за счёт увеличения объёма разрушения резанием в горизонтальном направлении и вводом в процесс бурения разрушения горной породы резанием в вертикальном направлении путём образования боковой открытой ступенчатой поверхности со ступеньками;

- благодаря более качественной очистке забоя от шлама повышается эффективность работы долота.

Также глава содержит общую информацию, которая способствует формированию базы знаний в изучаемой теме. Для дальнейшего выполнения работы содержательность информационного блока способствует грамотному решению конструктивных особенностей шарошечного долота диаметром 184 мм для глубокого бурения пород средней и большой крепости.

2 Анализ существующих методик расчёта шарошечного долота.

2.1 Буримость горных пород и методы её оценки.

Проектирование параметров режима бурения производится для расчетных интервалов пород толщиной из условий ожидаемой проходки долота. Оптимизация режима бурения методом математической статистики требует наличия значительного объема информации, стоит также заметить, что чем больше время получения информации, тем меньше результативность процесса оптимизации, т.е. следует стремиться к уменьшению времени для большей эффективности. От величины расчетного интервала зависит время сбора информации: больший расчетный интервал требует большего количества долот и, как следствие, сбор информации происходит быстрее. Но из этого вытекает следующее условие, получаемая информации должна являться статистически стабильной, а это возможно при постоянном комплексе условий бурения в границах интервала. Интервалы бурения, которые характеризуются примерно одинаковыми технологическими и геологическими условиями бурения, именуется режимными пачками или же пачками примерно одинаковой буримости пород. Далее в работе для краткости будет использоваться термин пачки.

Буримость пород определяется как совокупность технико-технологических и геологических факторов и обуславливает затраты средств и времени на проходку определенного интервала породы.

К основным технико-технологическим факторам относятся: способ вращения долота, режим работы долота, буровая установка, тип, класс.

К основным геологическим факторам относятся: строение породы, литологический состав, пластические, упругие, абразивные и прочностные свойства горных пород и пластовое давление.

Пачки горных пород учитывают геологические факторы и только те технико-технологические факторы, которые являются постоянными, например, буровая установка или диаметр долота.

Количественное описание разреза месторождения осуществляется с помощью следующих характеристик (параметров): твердость, абразивность и сплошность пород.

Сплошность породы является косвенной характеристикой её пористости и проницаемости. Косвенное описание данных параметров осуществляется по способности стенок скважины пропускать буровые растворы через себя.

Выделяют четыре категории сплошности»[6]:

- 1) Порода способна пропускать промывочную жидкость вместе со шламом разбуренной породы;
- 2) Порода способна пропускать дисперсионную среду и дисперсную среду бурового раствора, т.е. коллоидные частицы;
- 3) Порода способна пропускать только дисперсионную среду раствора;
- 4) Порода не способна пропускать через себя газы и жидкости, не происходит передача давления.

При осуществлении оценки буримости горной породы настоятельно рекомендуется использовать как можно меньшее число характеристик породы или по возможности одну интегральную характеристику. Если для оценки используются несколько характеристик, то они должны являться независимыми. Выше было продемонстрировано, что чем меньше пористость литологически однотипных пород тем выше их твердость, следовательно, увеличение сплошности в категориях также ведет к увеличению твердости.

Износ породоразрушающего инструмента и механическая скорость проходки косвенно демонстрируют сопротивлению породы разрушению и его абразивность. Отсюда и обуславливается широкая распространенность применения показателей работы сопоставимых по классу и типу долот в

качестве характеристики породы – буримости. Далее в работе для краткости термин «тип» долота будет обозначать одновременно его класс и тип, данная условность применяется и на буровых предприятиях.

2.2 Способы разделения разреза на пачки

Существуют основные принципы, с помощью которых осуществляется разделение разрезов на пачки. Данные принципы были предложены В. С. Федоровым:

- 1) Пачка должна являться непрерывной;
- 2) Толщина пачки должна быть больше или равна ожидаемой проходки долота, ранее использовалось требование – не менее трех проходок долота;
- 3) Пачка должна разбуриваться долотами одного типоразмера и промывка должна при этом производиться одним и тем же буровым раствором, только если цель не заключается в оптимизации свойств и состава раствора;
- 4) Абразивность и твердость пород характерных интервалов пачки должны быть статистически схожими, т.е. их отличие не должно быть значительным.

Различают несколько способов деления разреза на пачки. Ниже будут рассмотрены лишь основных из них.

М. Г. Бингхэмом был предложен графический деления. В данном способе происходит рассмотрение зависимости времени бурения от глубины скважины и делается предположение, что интервалы бурения, в которых данная зависимость имеет постоянный угол наклона, характеризуются породой с одинаковым показателем буримости. При осуществлении фиксации границ интервалов, например, по подошвам стати-графических подразделений, как это продемонстрировано на рисунке 2.1 а, происходит разделение зависимости суммарного времени бурения от глубины скважины на прямолинейные отрезки, которые являются удобными в использовании.

На рисунке 2.1, а обозначены шесть стати-графических подразделений, стоит указать, что в подразделениях 3` и 3`` углы наклона зависимости времени от глубины скважины являются одинаковыми, и данные интервалы объединяются в одну пачку.

В. Г. Беликовым был предложен способ последовательных разбиений. Данный способ строится на выделении интервалов бурения по принятому показателю буримости и статистической оценки значимости отличий между интервалами. Данный способ деления изображен на рисунке 2.1 б, на нем продемонстрирована зависимость твердости H_n пород в категориях от длины исследуемого интервала. В начале происходит деление интервала на два отрезка l_1 и l_2 . Существует следующее ограничение – длина отрезков не должна быть меньше ожидаемой проходки долота. Исходя из данного ограничения задается минимальная возможная длина отрезка l_1 , отрезок l_2 является оставшейся частью интервала. Существенность различия параметра буримости отрезков оценивается с помощью одного из методов математической статистики. Авторы способа использовали дисперсионный однофакторный анализ. Дисперсионный анализ осуществлялся за счет программного обеспечения «Microsoft Excel». При отсутствии существенного отличия параметра буримости между отрезками происходит смещения границы отрезков на один элемент вниз, и затем процедура оценки повторяется снова. Данная процедура повторяется до тех пор, пока не будет найдена граница, после которой различия по параметру буримости между отрезками не будут существенными.



Рисунок 2.1 – Схемы разделения разреза на пачки

Найденная граница принимается как граница между пачками. В том случае, когда длина второго отрезка становится меньше минимальной допустимой длины, которая выявляется из ранее сказанного условия, и при этом граница так и не выявлена, то рассматриваемый интервал не делится на пачки и указывается как однородный. При существенном различии и допустимой длине отрезков происходит деление одного или обоих отрезков на еще два отрезка и происходит переоценка. На рисунке 2.1 б продемонстрирована возможность деления второго интервала отрезка l_3 и l_4 . Данная ситуация обозначает, что в пределах интервала l было выявлено три пачки пород, которые отличаются между собой по показателю буримости.

После того как осуществлено деление на пачки, производится попарное сравнение смежных выявленных интервалов. Данное сравнение проводится с целью устранения ложных границ между пачками. При обнаружении ложных границ производится слияние интервалов, проходящих проверку, в одну пачку.

Существует способ деления по статиграфическим подразделениям разреза месторождения. Данный способ является наиболее простым и, за счет данного фактора, широко распространенным, так в буровых предприятиях отчетность и технологическая информация осуществляется по

статиграфическим подразделениям. Развитие долот и сопутствующее этому процессу увеличение показателя проходки привели к ситуации, что данная разбивка не удовлетворяет условию о толщине пачки. Нередка ситуация, когда границы резкого изменения свойств пород не соответствуют кровле и подошве статиграфических подразделений.

2.3 Закономерности изменения механической скорости проходки в процессе бурения

Зависимость механической скорости проходки от времени $v(t)$ в процессе бурения является одной из основных частных моделей процесса углубления скважины долотом. При постоянных условиях бурения функция $v(t)$ убывает по мере увеличения времени t . И только в идеальном случае, когда отсутствует износ вооружения долота, величина v не зависит от времени. Р. А. Бадалов для зависимости $v(t)$ предложил следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dv}{dx} + \varphi \cdot v^k = 0, \quad (1)$$

где φ и k – параметры уравнения, зависящие от износостойкости вооружения, абразивности горных пород и режима работы долота.

Начальные условия при интегрировании уравнения (1):

$$t = 0; v = v_n.$$

где v_n – начальная механическая скорость проходки новым долотом.

Нетрудно видеть, что при $\varphi = 0$, решение уравнения (1) имеет вид:

$$v = v_n = const.$$

Это даёт основание считать, что φ зависит, главным образом, от износостойкости вооружения долота.

Вид решения уравнения (1) определяется величиной показателя степени k . При $k = 0$ зависимость $v(t)$ линейная:

$$v = v_H - \varphi \cdot t. \quad (2)$$

Решение уравнения (1) при $k > 0$ (за исключением $k = 1$) имеет вид:

$$v = \frac{v_H}{\sqrt[k-1]{(1+(k-1)v_H^{(k-1)}\varphi t)}}. \quad (3)$$

А при $k = 1$:

$$v = v_H \exp(-\varphi t). \quad (4)$$

Решение уравнения:

$$\bar{X} = \frac{t}{n} \sum_{i=1}^n w_i x_i, \quad (5)$$

где x_i – показатель твердости или абразивности горной породы в категориях;

w_i – весовой коэффициент, равный отношению величины подинтервала l_i , который характеризуется показателем x_i , к средней толщине l стратиграфического подразделения.

При $k < 0$ имеет вид:

$$v = \sqrt[1-k]{(v_H^{(1-k)} - (1-k)\varphi t)}. \quad (6)$$

Р.М. Эйгелесом предложено для описания зависимости $v(t)$ использовать приближенную степенную формулу:

$$v = \frac{v_n}{(1+t)^\beta}. \quad (7)$$

При наличии зависимости v от t нетрудно рассчитать и проходку на долото:

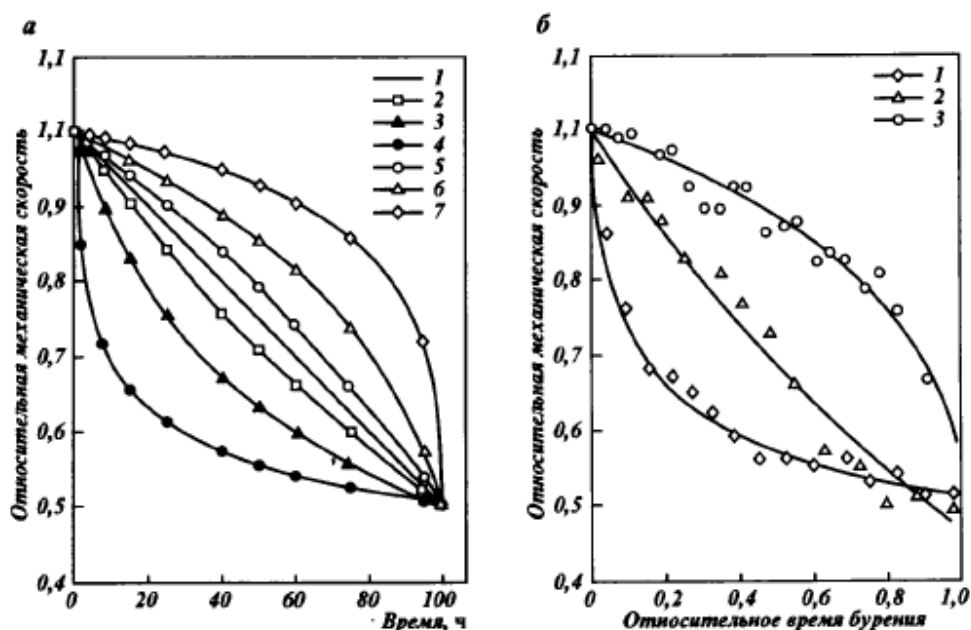
$$H = \int_0^T v(t) dt,$$

где T – стойкость долота.

На рисунке 2.2, а приведены зависимости относительной механической скорости проходки, равной отношению v/v_n , от времени. Величина скорости в конце бурения принята равной $0,5 v_n$.

Эта норма вытекает из рекомендаций В. С. Федорова считать, что долото исчерпало свой ресурс по вооружению, когда механическая скорость снизится более, чем вдвое. Эта рекомендация широко используется на практике для приближенной оценки времени, когда необходимо поднять отработанное долото из скважины. Время бурения t условно принято равным 100 ч.

Из рисунка 2.2, а видно, что зависимости $v(t)$ при $k > 0$ представляют собой монотонно убывающие вогнутые кривые, а при $k < 0$ – монотонно убывающие вогнутые кривые. С увеличением $|k|$ растет кривизна зависимостей. Зависимость v от t , рассчитанная по формуле (6), практическая совпадает с аналогичной зависимостью, рассчитанной по формуле (3) при $k = 8$, и, следовательно, не может претендовать на универсальность.



а – расчетные графики при значениях параметра k :

1 – $k = 0$; 2 – $k = 1$; 3 – $k = 3$; 4 – $k = 8$; 5 – $k = -1$; 6 – $k = -3$; 7 – $k = -8$;

б – результаты стендового бурения

Рисунок 2.2 – зависимости относительной механической скорости
в проходки от времени

Для конкретных долот и условий бурения зависимости v от t строятся по данным хронометража работы долот. На рис 2.2, б приведены названные зависимости в относительных координатах, построенные по результатам стендового бурения. Бурение велось с промывкой водой до момента снижения вдвое механической скорости проходки по сравнению с начальной, т.е. до отказа вооружения долота. Кривые 1 и 2 получены при бурении цементно-песчаных блоков долотом типа Т (первого класса) при частотах вращения 100 об/мин (кривая 1) и 800 об/мин (кривая 2). С изменением частоты вращения долота изменился и характер зависимости v от t . Если в первом случае она соответствует (4), т.е. экспоненциальная, то во втором случае соответствует (1) с показателем степени $k = 7$.

Кривая 3 получена при бурении кварцита долотом типа СЗ (второго класса) при частоте вращения 150 об/мин. Эта кривая в отличие от кривых 1 и 2 выпуклая и описывается уравнением (5) с показателем $k = -4$.

В случае долот первого класса снижение механической скорости обусловлено увеличением площади контакта зубьев с горной породой в результате их абразивного изнашивания. А так как по мере увеличения притупления (площади контакта) снижается удельная мощность трения, то снижается и скорость изнашивания зубьев. В случае долота второго класса выпуклый вид зависимостей v от t обусловлен суммированием абразивного изнашивания зубков и их усталостного разрушения. Усталостный процесс, в отличие от абразивного изнашивания, не затухает, а нарастает со временем. В сравнительно «чистом» виде этот процесс может иметь место для шарошечных долот с твердосплавным вооружением, когда величиной абразивного износа зубков можно пренебречь. Сломанные, сколотые и выпавшие зубки остаются на забое и, попадая под целые зубки, способствуют их разрушению.

При подборе вида зависимости v от t по экспериментальным стендовым или промысловым данным целесообразно задаваться целыми значениями k , а параметр φ – рассчитывать из полученного уравнения. При этом следует помнить, что начальная ордината зависимостей v от t известна и равна v_n .

При $k \leq 0$ формула (6) приводится к линейному виду подстановкой $y = v^{1-k}$. Тогда:

$$y = v_n^{1-k} - (1 - k)\varphi t = A_0 - A_1 t. \quad (8)$$

Далее формула (8) рассматривается как уравнение регрессии. Последовательно изменяя величина k , следует рассчитывать параметры A и коэффициент R^2 , характеризующий достоверность аппроксимации (например, используя прикладную программу Microsoft Excel). Результаты такого расчета для зависимостей v от t приведены в табл. №.

Из таблицы № видно, что расчет до перехода R^2 через максимальное значение. Параметр A_1 при $R^2 = \max$ принимается в качестве коэффициента регрессии для уравнения (8). Величина A_0 во всех расчетах и в окончательном уравнении принимается равной v_H^{1-k} . При необходимости можно найти параметр φ по формуле:

$$\varphi = \frac{A_1}{1-k}. \quad (9)$$

Таблица 5 – Результаты расчета R^2 и A по результатам хронометража работы долот

Тип долота	Горная порода	n_d , об/мин	k	R^2	A	Автор исходных данных
Т	Песчано-цементный блок	100	0	0,970	-	Н.М. Филимонов
			1	0,971	0,76	
			2	0,900	-	
Т	Песчано-цементный блок	800	6	0,959	-	Н.М. Филимонов
			7	0,960	54,71	
			8	0,947	-	
СЗ	Кварц	150	-3	0,946	-	Г.Д. Бревдо
			-4	0,952	0,93	
			-5	0,945	-	

В случае $k > 0$ формула (3) может быть представлена в виде:

$$v = \frac{v_H}{k-1 \sqrt{1+A_2 t}}, \quad (10)$$

которая непосредственно к удобному линейному виду не приводится.

Поделив левую и правую части формулы на v_H и взяв их обратные значения, представим формулу (3) в виде:

$$y = \left(\frac{v_H}{v}\right)^{k-1} = 1 + A_2 t, \quad (11)$$

где A_2 – параметр линейного уравнения регрессии y от t .

Далее проводится такая же процедура, как и в предыдущем случае, т.е. последовательно увеличивая k (берутся положительные значения, кроме $k = 1$), находим соответствующие ему значения A_2 при $R^2 = \max$ принимается в качестве искомого коэффициента регрессии. По величине A_2 рассчитывается значение:

$$\varphi = \frac{A_2}{(k-1)} v_{\text{н}}^{(k-1)}. \quad (12)$$

При подборе уравнения регрессии для вогнутых зависимостей v от t следует проверить и случай $k = 1$. Уравнение (4), соответствующее этому случаю, приводится к линейному виду простым логарифмированием, т.е:

$$y = \ln v = \ln v_{\text{н}} + \varphi t. \quad (13)$$

Далее определяются параметры R^2 и φ как для линейного уравнения регрессии. Если величина R^2 для уравнения (13) получится равной или больше R^2 для уравнения (11), то для описания зависимости v от t принимается формула (4), т.е. экспоненциальная зависимость.

2.4 Безразмерные характеристики разрушения горных пород

При анализе и обобщении экспериментальных промысловых и лабораторных исследований разрушения горных пород удобно пользоваться не натуральными, а безразмерными характеристиками. Для этого натуральные величины делятся на значения таких параметров, которые могут служить их обобщающей единицей измерения. Для описания глубины разрушения (внедрения) горной породы притупленным клином в качестве такой единицы принято начальное притупление клина b_0 , а для зубков со скругленной рабочей поверхностью радиусы скругления

$R_{\text{ц}}$ и $R_{\text{с}}$ соответственно цилиндрической и сферической рабочих поверхностей:

Для притупленного клина $\delta_{\text{п}} = \delta_{\text{max}}/b_0$;

Для зубка с цилиндрической рабочей поверхностью $\delta_{\text{ц}} = \delta_{\text{max}}/R_{\text{ц}}$;

Для зубка со сферической рабочей поверхностью $\delta_{\text{с}} = \delta_{\text{max}}/R_{\text{с}}$;

Где δ_{max} – максимальное внедрение в горную породу соответствующего индентора (элемента вооружения).

Осевая нагрузка на долото и нагрузка на индентор приводятся к безразмерному виду путем деления действующей нагрузки G на нагрузку $G_{\text{с}}$, необходимую для достижения в горной породе предела текучести, т.е:

$$G^* = G/G_{\text{с}} \quad (14)$$

где G^* – безразмерная нагрузка на долото.

Величина $G_{\text{с}}$ рассчитывается по геометрическим параметрам вооружения шарошек и по показателям механических свойств горных пород при вдавливании штампа. Для притупленного клина:

$$G_{\text{сп}} = \bar{\eta} b \sum l_i p_0, \quad (15)$$

где $\bar{\eta}$ – средняя доля от $\sum l_i$ одновременно контактирующих с забоем зубьев;

b – притупление зубьев (клина);

$\sum l_i$ – суммарная длина зубьев по одному с каждого венца;

p_0 – предел текучести горной породы по штампу.

Для долот с конусно-клиновыми зубками, имеющими цилиндрическую рабочую поверхность:

$$G_{\text{сц}} = \bar{\eta} \pi \tilde{R}_{\text{ц}} \sum d_i p_0^2 / C, \quad (16)$$

где $\tilde{R}_ц$ – средневзвешенные радиус скругления рабочей поверхности зубка;

$\sum d_i$ – сумма диаметров зубков по одному с каждого венца (ряда); C – модуль деформации горной породы при вдавливании.

Для долот, оснащенных зубками со сферической рабочей поверхностью:

$$G_{сц} = \bar{\eta} \pi^3 \tilde{R}_c^2 \sum d_i p_0^3 / (6 \tilde{d} C^2), \quad (17)$$

где \tilde{R}_c и \tilde{d} – средневзвешенные радиус сферы и диаметр зубков соответственно.

Формулы (16) и (17) получены на основании рассмотренных выше задач Герца при условии $p_{max} = p_0$.

Введение коэффициента $\bar{\eta}$ обусловлено тем, что элементы вооружения в венцах шарошек размещены вразбежку и контактируют с забоем в каждый момент времени в разных сочетаниях. Расчеты показали, что относительные суммы длин зубьев для притупленного клина и диаметров зубков за один оборот трехшарошечных долт диаметров 190,5 и 215,9 мм подчиняются нормальному закону с параметрами $\bar{\eta} \approx 0,30$; $s_{\eta} \approx 0,12$.

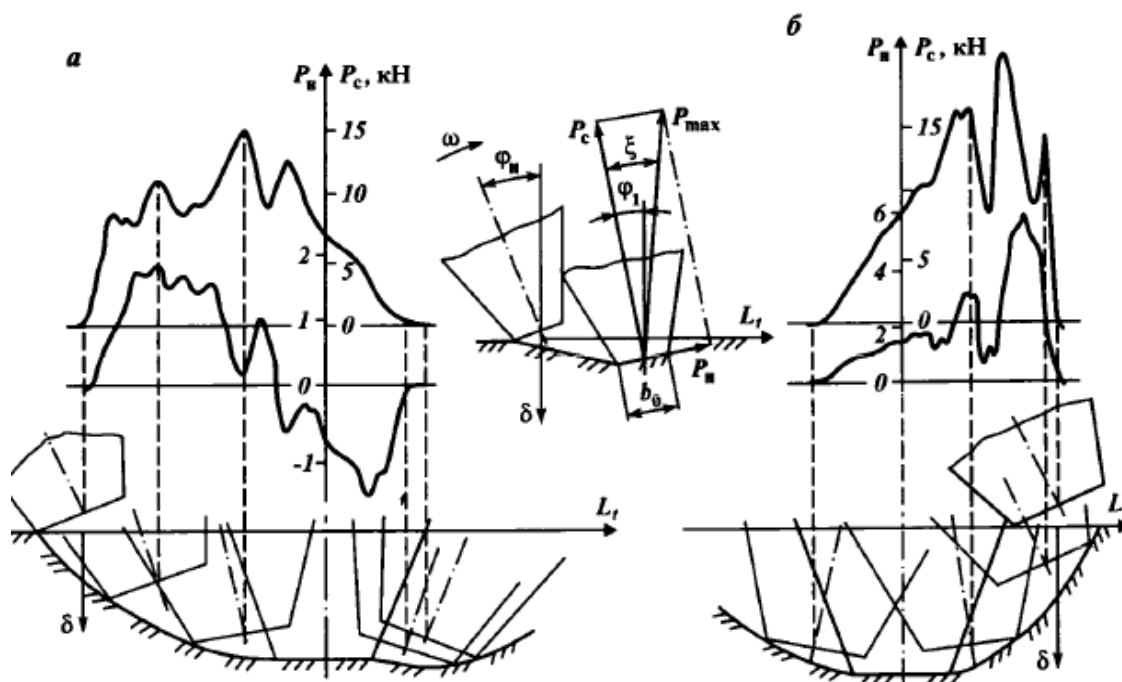
Изменение во времени количества одновременно воздействующих на забой элементов вооружения приводит к соответствующему изменению их давления на горную породу во времени и, следовательно, к неравномерному разрушению забоя и нагружения самих элементов.

2.5 Объемное разрушения горной породы вооружением шарошек

Взаимодействие вооружение шарошки с породой в процессе бурения продемонстрировано на рисунке 2.3. На данном рисунке показаны кинограммы движения элемента вооружения, а также присутствуют осциллограммы изгибающей $P_{и}$ и сжимающей $P_{с}$ сил, которые действуют на него и представлены как реакции со стороны породы при положительном

(рисунок 2.3 а) и отрицательном (рисунок 2.3 б) тангенциальном скольжении. Зуб вступает в контакт с забоем при начальном угле взаимодействия φ_n и, перекатываясь с угловой скоростью ω , внедряется в породу. При этом осуществляет поступательное движение и скалывает породу. На графике, демонстрирующем сжимающие силы, присутствуют характерные экстремумы максимума, которые отражают скачки разрушения породы и свидетельствуют о том, что было три последовательных скачка разрушения. График изгибающей силы (размещен ниже графика P_c) в первой половине процесса взаимодействия с породой является положительным, а во второй – отрицательным. Данное явление свидетельствует о знакопеременном изгибе элемента вооружения долота при положительном тангенциальном скольжении.

При отрицательном скольжении (рисунок 2.3 б) зуб словно пробуксовывает и при этом разрушает породу. При постоянной глубине разрушения максимальные значения P_n и P_c значительно больше, чем при схожей ситуации при положительном скольжении, но при этом изгибающая сила знак не меняет. Схема, представленная на рисунке 2.3 б, демонстрирует следующее явление – набегающая грань зуба движется на разрушаемую породу, при этом заземляя её, и составляет острый угол с поверхностью забоя. Для ликвидации данного эффекта для долот 215,9С-ГН-3 было спроектировано наклонное вооружение на венцах с нулевым и отрицательным скольжением. Угол наклона ξ находился из условия, что вектор P_{max} находится в плоскости симметрии зуба.



а - при положительном тангенциальном положении $V_{уд} = 0,7$ мм/рад; б – отрицательном тангенциальном положении $V_{уд} = -0,7$ мм/рад

Рисунок 2.3 – осциллограммы сжимающей P_c и изгибающей P_n сил действующих на притупленный клин, и кинограмма его движения в процессе разрушения горной породы при положительном $V_{уд} = 0,7$ мм/рад (L_1 – тангенциальное перемещение клина относительно забоя)

На рис 2.4 показаны зависимости глубины внедрения от максимальной нагрузки в безразмерных координатах. На графике δ_n от G_n (рисунок 2.4, а) можно выделить три области разрушения горной породы. В области I разрушение развивается от упругого деформирования, появления следа на поверхности породы до хрупкого выкола по контуру следа без разрушения ядра сжатия. По аналогии с динамическим вдавливанием штампа появление следа и развитие хрупкого выкола отнесено к первому скачку разрушения горной породы.

На границе между областями I и II происходит скачок общего хрупкого разрушения при $G_n = \text{const}$. При этом ядро сжатия разрушается и развивается второй скачок разрушения горной породы. Область II – область

существования устойчивой формы разрушения породы, а поэтому темп роста глубины внедрения резко снижается.

На границе между областями II и III наблюдается третий скачок разрушения горной породы, характеризующийся резким увеличением глубины внедрения клина при $G'_n = \text{const}$.

На рисунке 2.4, б приведены зависимости δ_c от G'_c для зубка со сферической рабочей поверхностью, из которого видно, что криволинейная рабочая поверхность зубка обуславливает монотонный вид зависимостей δ_c от G'_c и только анализ осциллограмм силы P_c позволяет выделить области разрушения породы.

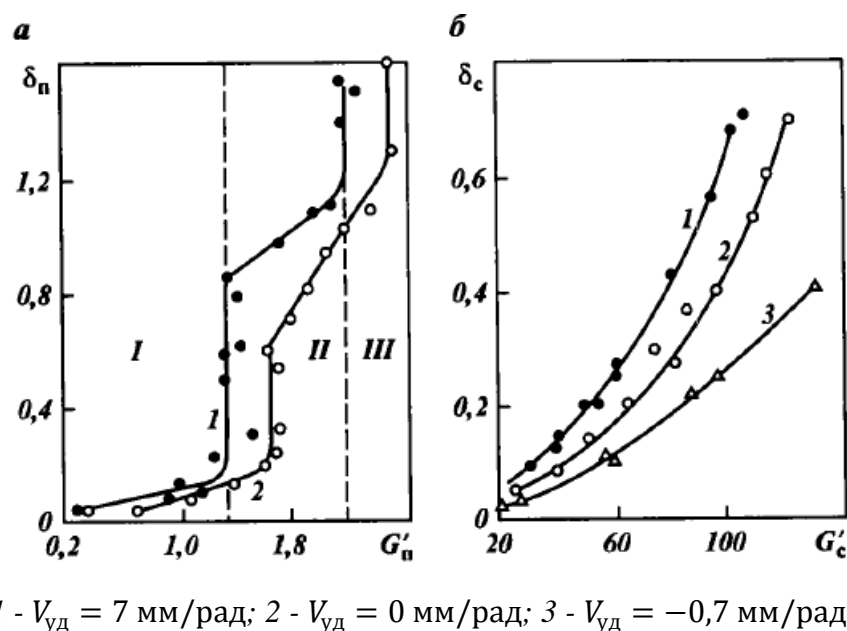


Рисунок 2.4 – зависимости относительной глубины разрушения мрамора притупленным клином (а) и сферой (б) от безразмерных нагрузок

Первый скачок разрушения в виде кругового скола без разрушения ядра развивается, начиная с весьма малой G'_c . В диапазоне $50 < G'_c < 80$ развивается второй скачок общего хрупкого разрушения и т.д. Положительное скольжение зубка приводит к смещению влево границ скачков разрушения породы, а отрицательное скольжение – к уменьшению глубины внедрения зубка.

Разрушение горных пород клиновым зубкам не имеет принципиальных отличий от описанного выше и отдельно не рассматривается.

2.6 Зависимости начальных характеристик разрушения горных пород от осевой нагрузки на долото

Эти зависимости рассмотрим в безразмерных координатах. Основными характеристиками являются начальная механическая скорость проходки, энергоемкость разрушения горной породы и коэффициент динамичности. При рассмотрении зависимости механической скорости от осевой нагрузки на долото целесообразно исключить частоту вращения долота. Поэтому вместо механической скорости аргументом принята проходка за один оборот долота H_0 , связанная с механической скоростью линейной зависимостью

$$v = 60H_0n_d, \text{ м/ч} \quad (18)$$

где n_d – частота вращения долота, об/мин;

H_0 – проходка за один оборот долота, м, которая в свою очередь приводится к безразмерному виду делением на начальное притупление элементов вооружения, т.е.

$$\delta_0 = \frac{H_0}{b_0}. \quad (19)$$

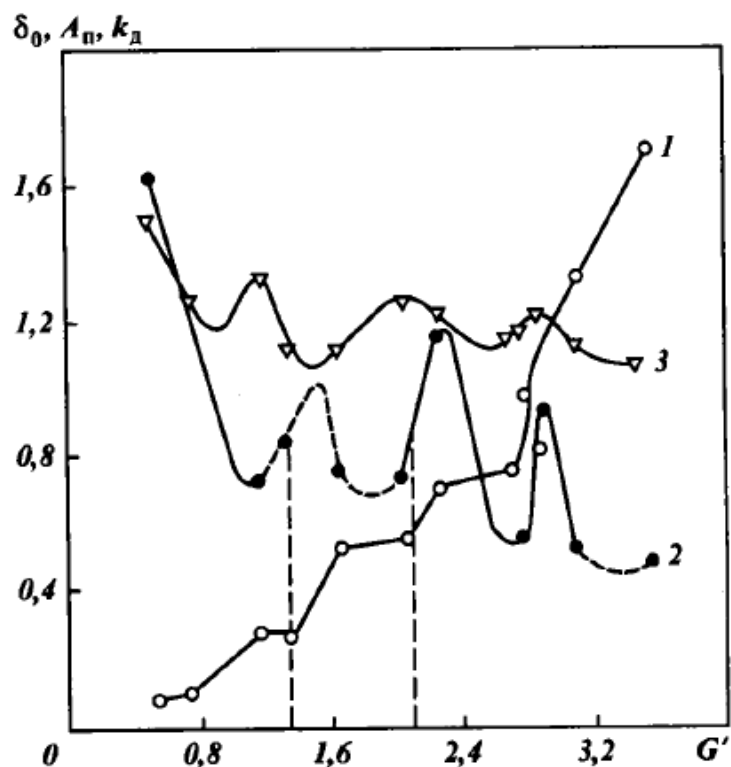
Энергоемкость разрушения горной породы $A_{уд}$ приводится к безразмерному виду ее делением на соответствующую энергоемкость A_v при вдавливании штампа:

$$A_{\pi} = \frac{A_{уд}}{A_v}, \quad (20)$$

где A_{Π} – относительная энергоемкость разрушения горной породы при бурении.

Коэффициент динамичности k_d работы долота величина безразмерная.

На рисунке 2.5 приведены результаты изучения зависимости названных показателей работы долота 215,9С-ГВ при бурении мрамора на стенде. На рисунке 2.5 видно, что, как и при единичных воздействиях зуба долота на породу, при работе долота просматривается скачкообразность разрушения. Наиболее четко она выражена на зависимостях A_{Π} и k_d от G' . На зависимостях δ_{Π} от G' границы между областями разрушения (скачки) выражаются увеличением наклона линий графика, а не вертикальными кривыми, как при работе отдельных зубьев. Это обусловлено тем, что зубья разных венцов шарошек имеют разное скольжение и воздействуют на забой в разных сочетаниях. Поэтому переход из одной области разрушения в другую происходит не скачком, а сравнительно постепенно: по мере увеличения нагрузки на долото уменьшается доля разрушения в предыдущей области и увеличивается доля разрушения в последующей области. Но при этом разные зубья разрушают горную породу на разную глубину, что и приводит к росту коэффициента динамичности на границах областей разрушения. Слабая выраженность скачков разрушения на зависимостях δ_0 от G' объясняет тот факт, что в технической литературе зависимости начальной механической скорости бурения чаще всего представлены сглаженными кривыми для всех видов вооружения, а не только для вооружения в виде зубков со скругленными рабочими поверхностями.



1 – интенсивность, 2 – энергоемкость, 3 – коэффициент динамичности

Рисунок 2.5 – Зависимости разрушения мрамора от безразмерной нагрузки при бурении на стенде долотом 215,9С-ГВ

Зависимость A_n от G' имеет четко выраженные минимумы и максимумы, как и при динамическом вдавливании инденторов. При этом минимальная энергоемкость разрушения горной породы при переходе из одной области разрушения горной породы в другую монотонно понижается. Поэтому в реальных условиях бурения повышение нагрузки на долото должно быть не непрерывным, а дискретным, соответствующим минимумам энергоемкости разрушения. Эти нагрузки на долото являются оптимальными в пределах каждой области разрушения.

2.7 Обобщенные показатели сопротивления горных пород разрушению вооружением долот

Нагрузки на элементы вооружения в формуле (14), соответствующую k -му скачку разрушения породы, обозначим G_k , а соответствующие

расчетные безразмерные нагрузки $G'_{кп}$, $G'_{кц}$ и $G'_{кс}$ соответственно. Эти величины представляют собой обобщенные показатели сопротивления горных пород разрушению соответствующими элементами вооружения. Для долот в целом значения этих показателей приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Обобщенные показатели сопротивления горных пород разрушению вооружением долот

Тип долота	Вид вооружения	Показатели G'_k	Скачки разрушения горной породы			
			1	2	3	4
М	Притупленный клин	$G'_{кп}$	-	1,28	1,96	2,60
МС,С	Притупленный клин	$G'_{кп}$	-	1,38	2,06	2,90
СТ,Т	Притупленный клин	$G'_{кп}$	0,4	1,64	2,37	3,10
МЗ	Зубок М	$G'_{кц}$	-	3,5	10,6	18,4
МСЗ,СЗ	Зубок М, С	$G'_{кц}$	1,4	3,6	10,7	18,6
СЗ	Зубок Г-25	$G'_{кц}$	2,6	5,9	9,5	16,1
ТЗ	Зубок Т	$G'_{кц}$	1,8	4,0	11,0	19,2
К	Зубки К и Г-26	$G'_{кс}$	25	54	86	135

Обобщенные показатели сопротивления горных пород разрушению могут быть определены для конкретных типоразмеров долот при стендовом бурении. Наличие данных о G'_k позволяет весьма строго определять области разрушения горных пород такими долотами. Будем называть k -й областью разрушения горной породы диапазон осевых нагрузок на долото от нагрузки начала k -го скачка разрушения до нагрузки начала $k+1$ скачка разрушения.

2.8 Влияние промывочной жидкости на механическую скорость бурения

Промывка или продувка скважины при вращательном бурении является обязательным технологическим процессом. Они предназначены для очистки забоя от выбуренной горной породы (шлама), выноса шлама из скважины, охлаждения, очистки и смазывания скважинных инструментов, регулирования напряжений в стенках скважины, создания противодавления пластовым флюидам, а также для обеспечения работы гидравлических забойных двигателей. Одновременно промывка является третьим важнейшим фактором, определяющим режим работы породоразрушающих инструментов и их показатели [7].

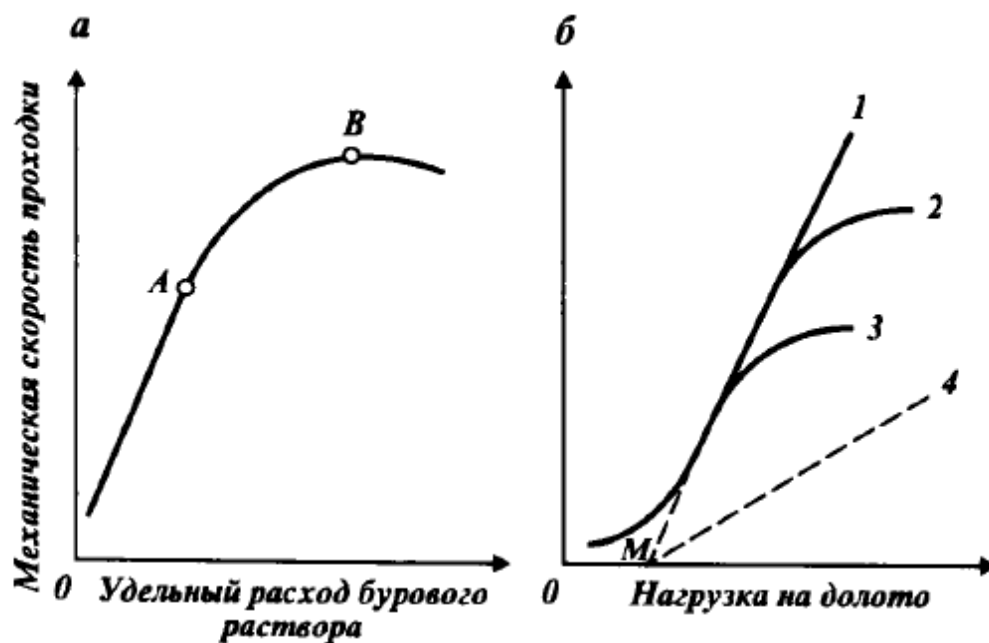
От количества жидкости, ее свойств и организации потоков на забое зависят полнота и своевременность очистки забоя, эффективность гидродинамического воздействия и степень проявления дифференциального давления. Отсюда следует, что на показатели работы долота существенное влияние оказывают:

- 1) Удельный расход промывочной жидкости (бурового раствора) $q_{уд}$ который часто называют объемной скоростью, так как измеряется в м/с;
- 2) Скорость истечения бурового раствора из промывочных отверстий или насадок долота;
- 3) Форма и расположение промывочных отверстий или насадок долота;
- 4) Организация и режим течения раствора относительно забоя;
- 5) Показатели свойств бурового раствора.

2.9 Влияние удельного расхода промывочной жидкости на механическую скорость проходки

Оно рассматривается без учета гидромониторного эффекта, т.е. для долот с обычной системой промывки. На рис 2.8, а приведена характерная зависимость механической скорости проходки от удельного расхода бурового раствора, из которой следует, что вначале на участке OA зависимость V_m от $q_{уд}$ близка к линейной, затем линейность нарушается и в точке B V_m достигает максимума. Такой вид зависимости объясняется тем, что с ростом $q_{уд}$ имеют место два действующих противоположно эффекта: улучшение качества очистки забоя, способствующее росту механической скорости, и увеличение угнетающего давления за счет роста сопротивления движению жидкости в кольцевом зазоре между бурильным инструментом и стенками скважины, приводящего к снижению механической скорости проходки.

Положение точки A на зависимости V_m от $q_{уд}$ не постоянно, а зависит от осевой нагрузки на долото, т.е. в конечном счете, от количества образующегося на забое шлама. На рисунке 2.8, б, сглаженные зависимости V_m от G получены при разных удельных расходах бурового раствора, при этом $q_{уд1} > q_{уд2} > q_{уд3}$ (соответственно кривые 1-3). Удельные расходы жидкости $q_{уд2}$ и $q_{уд3}$ не обеспечивают достаточную очистку забоя скважины, начиная с некоторой величины осевой нагрузки на долото, что и приводит к соответствующему снижению темпа роста механической скорости проходки. Отсюда следует, что выбор величины $q_{уд}$ необходимо согласовывать с ожидаемой механической скоростью проходки. Пунктирная линия 1 из точки M характерна для благоприятного, а 4 – для неблагоприятного сочетания рочих факторов.



а – постоянная осевая нагрузка; б – меняющаяся осевая нагрузка

Рисунок 2.8 – Влияние бурового раствора на механическую скорость проходки долота

2.10 Мощность и момент, обеспечивающие работу долот

Бурение скважин механическим способом, в том числе шарошечными долотами, весьма энергоемкий процесс. Мощность, обеспечивающая работу долота на забое, складывается из мощности на вращение долота N_d и гидравлической мощности N_r , расходуемой в системе промывки долота. Мощность N_d рассчитывается по формуле:

$$N_d = 2\pi \cdot M \cdot n \quad (21)$$

где M – вращающий момент на долоте; n – частота вращения долота, об/с.

Вращающий момент на долоте зависит от осевой нагрузки – G , свойств разбуриваемых пород и типа долота. В общем случае эмпирическая зависимость момента от осевой нагрузки для конкретного типа долота и

соответствующих ему горных пород с достаточной для практических целей точностью может быть представлена в виде:

$$M = M_x + M'_{уд} \cdot G \quad (22)$$

где M_x – момент, не зависящий от осевой нагрузки и обусловленный трением долота о жидкость и стенки скважины;

$M'_{уд}$ – удельный момент на долоте.

Момент измеряют и используют при расчетах в области рабочих нагрузок на долото. В этом случае можно пойти на дальнейшее упрощение зависимости M от G и принять:

$$M = M'_{уд} \cdot G \quad (23)$$

Зависимость $M_{уд}$ от типа долота обусловлена как разной областью применения, так и разной складывающей способностью долот. Соотношение моментоемкостей по типам приближению составляет $M:C:T:K = 1:0,8:0,6:0,5$. По данным Ф. Н. Фоменко $M_{уд}$ прямо пропорционален диаметру (радиусу R_d) долота. С учетом изложенного выше окончательно можно записать, что:

$$M = m_0 R_d \cdot G \quad (24)$$

где m_0 – коэффициент сопротивления вращению долота.

Для приближенных расчетов можно принять для разных типов долот:

Измеряемые в промысловых условиях удельные моменты ($M_{уд} = m_0 \cdot R_d$) колеблются в широких пределах. Приведенные цифры соответствуют средним значениям m_0 при высокооборотном бурении и могут быть использованы в расчетах в случаях применения долот по назначению.

Таблица 7 – Типы долот

Тип долота	m_0
М	0,095
МС	0,085
С	0,074
СТ	0,058
Т	0,053
К	0,042

Наибольшее влияние на m_0 оказывает смещение осей шарошек в плане. Это подтверждается прямыми измерениями момента при бурении горной породы средней твердости лабораторными долотами с одинаковым вооружением (типа С), но с разным смещением. Обобщенные результаты приведены на рисунке 2.8

Из рисунка 2.9 видно, что зависимость m_0 от k_0 имеет четко выраженный минимум при небольшом положительном значении k_0 . В области отрицательных значений смещения при его увеличении по модулю наблюдается быстрый рост m_0 . При $k_0 < -0,06$ наблюдалось самозаклинивание долота в скважине, которое обусловлено тем, что в процессе взаимодействия с забоем в случае отрицательного смещения k радиальное скольжение вооружением направлено от центра к стенке скважины и сопровождается защемлением разрушаемой породы между обратным конусом шарошки и стенкой скважины. И лишь при некотором значении $k_0 > 0$ эффект защемления полностью устраняется. Для современных долот $k_{0min} \approx 0,01$ и соответствует минимуму m_0 . Далее m_0 с увеличением k_0 монотонно возрастает.

На рисунке 2.9 нанесены значения m_0 , соответствующие долотам типов Т, С и М при применении их по назначению. Точка для долота типа С наиболее близка к графику, так как тип вооружения и горная порода соответствовали этому типу.

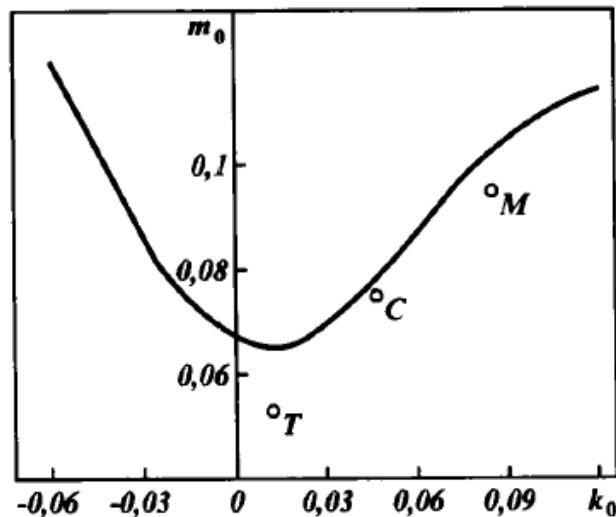


Рисунок 2.9 – Зависимость коэффициента сопротивления вращению долота от относительного смещения осей шарошек

Более низкое положение m_0 для долота типа Т обусловлено совместным влиянием несоответствия твердости породы и меньшего шага, а для долота типа М – несоответствия твердости породы и большого шага по сравнению с лабораторными условиями получения зависимости m_0 от k_0 . Известно, что с увеличением твердости при прочих равных условиях m_0 снижается, причем особенно значительно в области $p_{ш} < 1500$ Мпа, а при увеличении шага зубьев долота m_0 повышается. С увеличением частоты вращения долота наблюдается снижение m_0 , причем наиболее значительное в области $n_d < 400$ об/мин, далее m_0 стабилизируется.

Работа взаимодействия элемента вооружения с горной породой может быть представлена в виде суммы:

$$A_B = A_z + A_{xy} \quad (25)$$

где A_B – работа взаимодействия;

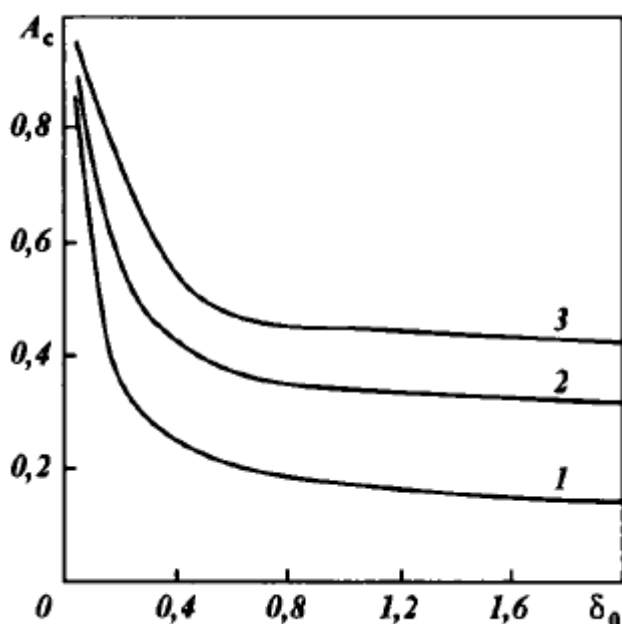
A_z – работа силы, нормальной к плоскости забоя (работа вдавливания);

A_{xy} – работа сил, действующих в плоскости забоя.

Обозначим:

$$A_c = \frac{A_{xy}}{A_B} \quad (26)$$

где A_c – доля работы скольжения горных пород.



1 – низкая скалывающая способность; 2 – средняя скалывающая способность; 3 – высокая скалывающая способность

Рисунок 2.10 – Зависимости доли работы скольжения от интенсивности разрушения горной породы для долот

Экспериментально показано, что работа скольжения оказывает решающее влияние на абразивное изнашивание вооружения долот.

На величину A_c наибольшее влияние оказывают интенсивность разрушения горной породы и скалывающая способность вооружения долот. На рисунке 2.10 приведены зависимости A_c от δ_0 для долот первого класса с разной скалывающей способностью. Здесь $\delta_0 = H_0/b_0$ – относительная интенсивность разрушения горной породы (H_0 – проходка за один оборот долота; b_0 – начальное притупление зубьев долота).

Гидравлическую мощность, расходуемую в системе промывки долота, можно рассчитать по формуле:

$$N_{\Gamma} = p_{\text{д}} Q \quad (27)$$

$p_{\text{д}}$ – перепад давления, срабатываемый в системе промывки долота (перепад давления на долоте); Q – расход бурового раствора.

2.11 Выводы

Во второй главе были приведены общие расчётные характеристики, позволяющие определять, такие важные при бурении параметры как:

- 1) Мощность и момент, обеспечивающие работу долот;
- 2) Влияние удельного расхода промывочной жидкости на механическую скорость проходки;
- 3) Влияние промывочной жидкости на механическую скорость бурения;
- 4) Механическая скорость проходки;
- 5) Проходку на долото;
- 6) Энергоёмкость разрушения горной породы;
- 7) Коэффициент динамичности;
- 8) Работа взаимодействия элемента вооружения с горной породы;
- 9) Осевая нагрузка на долото и на индикатор при различной конструкционной характеристике.

Также наглядно продемонстрированы для лучшего восприятия графические зависимости некоторых расчётных параметров. Они помогают в полной мере описать и отобразить процессы в забойной части скважины. А такая информация и достоверность способствует оптимальной и своевременной корректировке процесса бурения.

3 Проектирование шарошечного долота

3.1 Конструкционные материалы шарошечного долота и его изготовление

Во время работы, составляющие шарошечных долот подвержены воздействию сильных статических и динамических нагрузок, которые вызваны ударным видом воздействия породоразрушающих органов долота при разрушении горной породы.

Повторяющееся нагружение металла вызывает появление питтинга и усталостных трещин, как у составляющих вооружения, так и у элементов опоры долота. Наибольшему воздействию нагрузки подвергаются поверхности беговых дорожек, зубки шарошек и участки сопряжения цапфы с лапой долота.

На работоспособность шарошечного долота отрицательное влияние оказывают растворенные в промывочной жидкости коррозионно-активные элементы. Усталостное изнашивание опор шарошечных долот также усиливается при использовании поверхностно-активных веществ под влиянием эффекта адсорбции. Абразивная среда также ускоряет выход из строя шарошечного долота, в условиях которой работают все элементы шарошечных долот.

На основании долговременного опыта эксплуатации в настоящее время детали шарошечных долот изготавливаются из высококачественных сталей, содержащих следующие легирующие элементы: хром, никель, молибден (таблица 8). Беговые дорожки подшипников на цапфах и шарошках, а также наружные поверхности подвергаются химико-термической обработке – цементации с дальнейшей закалкой для максимального упрочнения поверхностного слоя [10].

Глубина цементированного слоя должна быть не меньше, чем указано в таблице 8 [10].

Механические свойства и твердость поверхностного слоя после полной химико-технической обработки металлов, используемых при изготовлении шарошек и лап, приведены в таблице 9 [10].

Таблица 8 – Марки сталей для лап и шарошек

Диаметр долота, мм	Для шарошек	Для лап
До 190	17ХНЗМА	20ХНЗА
214 и выше	18ХНЗМА и 20ХНЗА	14Х2НЗМА и 20ХНЗА

Таблица 9 – Глубина цементированного слоя деталей долота, мм

Диаметр долота, мм	На беговых дорожках цапфы после мех. обработки	На межвенцевых проточках шарошек
76 - 93	0,7 - 1,0	0,6 - 0,9
97 - 132	1,1 - 1,4	1,0 - 1,3
140 - 161	1,2 - 1,5	1,1 - 1,4
190 - 243	1,6 - 2,0	1,5 - 2,0
269 - 295	1,9 - 2,2	1,8 - 2,1
320 - 346	2,0 - 2,3	1,9 - 2,3
394 - 490	2,1 - 2,4	2,1 - 2,4

Корпуса цельнокорпусных долот изготавливаются литьем из стали 35Л согласно требованиям ГОСТ 977-65. Заготовки лап секционных долот штампуются в закрытых штампах с небольшими припусками на механическую обработку.

Внутренние проточки шарошек и беговые дорожки цапфы под роликовые или шариковые опоры подвергаются механической обработке на токарных и шлифовальных станках. Несоосность беговых дорожек подшипников на цапфе нежелательна.

Шарошки производятся способом горячей накатки или фрезерованием зубьев на фрезерных станках. Зубья основных конусов зубчатых долот всех типов выполняются призматической формы в виде притупленного клина. У шарошек, которые предназначены для бурения абразивных мягких и средних пород, поверхности зубьев и тыльная часть для предохранения износа наплавляются зерновым твердым сплавом типа релит. Этот сплав

представляет собой измельченный литой карбид вольфрама в виде зерен или стальных трубочек, которые заполнены зернистым релитом.

Таблица 10 – Механические свойства сталей для шарошек и лап долота

Основные параметры	Марки сталей			
	14X2H3MA	17H3MA	18XH3MA	20XH3A
Предел текучести (не менее), кгс/см ²	80	65	90	75
Твердость поверхности беговой дорожки	58 - 62	57 - 60	57 - 60	57 - 60
Относительное сужение (не менее), %	45	60	50	50
Ударная вязкость (не менее), кгс/см ²	8	9	10	8

Зернистый сплав релита наносится на зубья шарошки с помощью тока высокой частоты. Трубочато-зерновой сплав наносится на армируемую поверхность при нагреве ацетиленокислородным пламенем. Трубки для засыпки зерен литого карбида вольфрама изготавливаются из низкоуглеродистой стальной ленты длиной 390 мм и наружным диаметром от 7 до 3 мм. Для повышения качества наплавленного слоя рекомендуется использовать в качестве металла трубок легированную сталь марки 30ХГСА.

Зубья штыревых долот типов Т и ТК для разбуривания очень твердых, крепких и хрупких порода выполняются вставными. В качестве материала применяются штырьки твердого сплава типа ВК. Тыльная часть шарошек армируется вставными штырями или наплавляется твердым сплавом.

Вставки из твердого сплава типа ВК8-В применяются для армирования шарошечных долот типа ТК, К и ОК. Твердый сплав ВК8-В состоит из 92% карбида вольфрама и 8% кобальта. Штыри запрессовываются с натягом не менее 0,05 мм после термообработки шарошек. После запрессовки не допускается наличие трещин и сколов. Слой цементации у края отверстия под штырь повышает надежность запрессовки. Поэтому отверстия под вставные зубья сверлят после проведения цементации. Последующая термообработка искажает форму отверстий. Чистовая обработка отверстий

после окончательной термообработки шарошек значительно повышает надежность армирования шарошек долота.

Применяемые в опорах шарошечных долот ролики и шарики, производятся подшипниковыми заводами и кремнемолибденовой стали 55СМ5ФА-Ш+ВД с твердостью HRC 55-57.

Монтируются шарошки на опорных цапфах лап до сварки. После сварки собранных секций на корпусе долота нарезается присоединительная коническая замковая резьба.

Гидромониторные долота после нарезки резьбы проверяются на герметичность сварных швов опрессовкой при перекрытых промывочных каналах под давлением 60кгс/см².

3.2 Разработка модели долота

3.2.1 Входные данные

Диаметр долота: Ø184 мм.

Категория разбуриваемых пород: ОК (очень крепкие).

Количество шарошек: 3.

Конструкция долота: секционная.

Вид промывки: центральная гидромониторная промывка.

Угол наклона оси цапфы относительно горизонтальной плоскости: 40°.

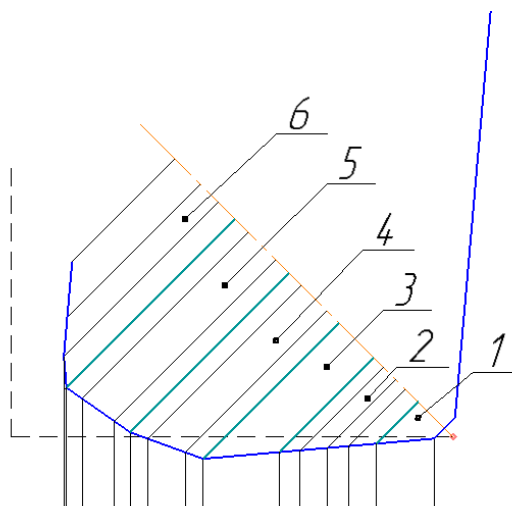
Тип опоры долота: АУ (используется компоновка опоры с двумя или более радиальными подшипниками скольжения с одним или более упорным подшипником и герметизацией опоры).

Так как долото используется для разбуривания очень крепких пород (ОК), выбираются зубки с овоидальной формой головки, форма зубков Г25 Ø8,2x10 ТУ 48-4205-44-2002.

3.2.2 Выбор и расчёт конструктивных элементов бурового долота

Изучив общую информацию и основные технические и эксплуатационные характеристики шарошечного долота, самих шарошек и их вооружений, следует наглядно продемонстрировать эффективность работы породоразрушающего инструмента на забое. Для этого возьмем для рассмотрения одну из шарошек и разобьем схематически на шесть линий резания, общий рисунок представлен ниже на рисунке 3.1.

Шаг между линиями резания выбирается в зависимости от координаты режущего элемента и угла наклона, причем количество режущих элементов в одной линии резания увеличивается при удалении от оси корпуса долота.



1 – первая линия резания; 2 – вторая линия резания; 3 – третья линия резания; 4 – четвертая линия резания; 5 – пятая линия резания; 6 – шестая линия резания

Рисунок 3.1 – Схема установки твердого сплава на конической шарошке

Основными измеряемыми параметрами предложенной схемы являются:

D_i – диаметр установки твердого сплава относительно оси шарошки;

L_i – длина окружности, по которой установлены зубцы на корпусе;

D_i' – диаметр прокатывания по забою;

L_i' – длина прокатывания по забою.

Длины окружностей для установления зубцов на корпусе и прокатывания по забою рассчитываются по следующим формулам соответственно:

$$L_i = \pi D_i$$

$$L_i' = \pi D_i'$$

Все полученные в ходе измерений и вычислений данные занесем в таблицу 11.

Таблица 11 – Параметры линий резания

Линии резания	D_i , мм	L_i , мм	D_i' , мм	L_i' , мм	Количество твердосплавных вставок (зубки)
1	7,8	24,49	12,13	38,09	3
2	13	40,82	20,16	63,30	7
3	10,2	32,03	15,87	49,83	13
4	14,6	45,84	16,10	50,55	12
5	15,9	49,93	16,14	50,68	20
6	17,7	55,58	26,21	82,30	16

Теперь рассмотрим каждую линию в отдельности.

1) На первой линии резания, как можно видеть по таблице 4, расположено три твердосплавных вставки по длине окружности равной 24,49мм, отсюда очевидно, что шаг между зубками ~8,16мм.

На рисунке 3.2 схематично изображено не только расположение твердого сплава на корпусе шарошки, но и показан рисунок взаимодействия вооружения с забоем.

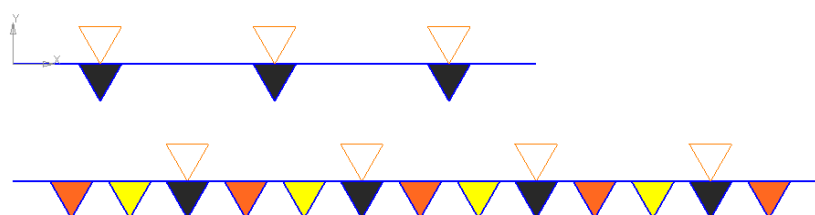


Рисунок 3.2 – Линия резания № 1

Из рисунка 3.2 можно судить, что параметры первой линии резания со сплавами в количестве трех штук, в полной мере удовлетворяют эффективной работе породоразрушающего инструмента. Зубки проходят длину прокатывания по забою, не попадая в первоначально созданные «ямки», это позволяет примерно в три оборота пройти нужную площадь забоя без лишней затраты энергии с наибольшим разрушением породы.

2) Вторая линия резания изначально содержит семь твердосплавных сплавов, расположенных по длине 40,82мм на расстоянии 5,83мм. Но при таком вооружении разрушение забоя производится с недостаточным результатом, в связи с этим, для полного разбуривания следует увеличить количество зубков хотя бы до десяти, как в нашем случае. И как видно из рисунка 4.3 результат прохождения этой линии резания становится намного продуктивнее. При новом расположении твердосплавного сплава шаг на той же длине линии становится 4,08мм.

Отсюда уже можно сделать вывод о важности анализа конструктивных характеристик с целью увеличения производительности.

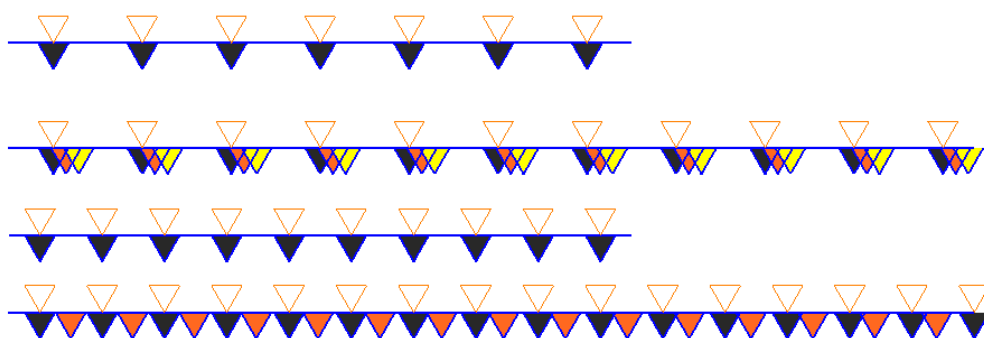


Рисунок 3.3 – Линия резания № 2

Черным треугольником обозначены «ямки» проделанные зубками шарошки за первое прохождение, оранжевым – за второе и желтым, соответственно, за третье прохождение вооружением шарошки. Что доказывает наложение на пробуриваемые координаты в первом случае, и

улучшение показателей бурения при увеличении зубков до десяти элементов во втором случае.

3) Рассмотрим аналогично следующую линию резания, которая включает в себя тринадцать элементов вооружения твердого сплава. Располагаются они на окружности длиной 32,03мм с промежуточным расстоянием 2,46мм. Схематическое изображение 3.4 наглядно показывает повышенную работоспособность, как видно из рисунка за два прохода по длине прокатывания забоя порода будет удалена.

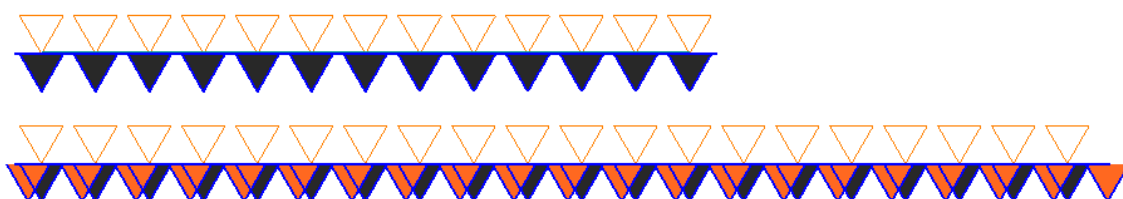


Рисунок 3.4 – Линия резания № 3

4) Четвертая линия резания. Из таблицы 11 на линии резания №4 расположено двенадцать твердосплавных вставки по длине окружности равной 45,84мм, отсюда очевидно, что шаг между зубками ~3,82мм.

На рисунке 3.2 представлено расположение твердого сплава на корпусе шарошки, и продемонстрировано взаимодействие вооружения шарошки с пробуриваемой породой.

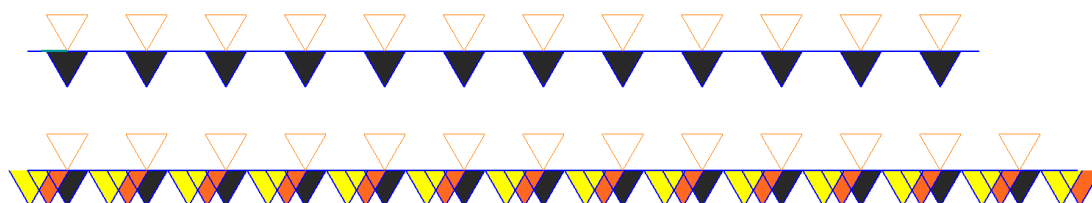


Рисунок 3.5 – Линия резания №4

Эффективность разработки забоя считается при установленных данных удовлетворительным, очевидно из рисунка, что вся поверхность

проходится с минимальным наложением на предшествующие координаты «ямок».

5) Далее рассмотрим пятую линию резания.

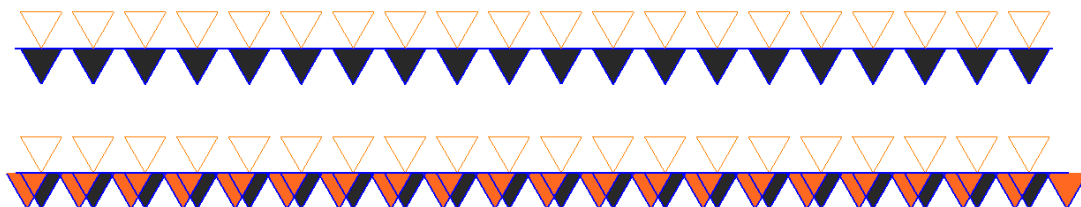


Рисунок 3.6 – Линия резания №5

Данные представленной линии шарошки имеют двадцать твердосплавных вставок с промежуточным расстоянием 2,5мм по длине окружности равной 49,93мм.

Самая объемная часть шарошки содержит самое большое количество зубков. Из рисунка 3.6 можно наглядно отметить, что представленная линия резания эффективно проходит требуемую траекторию по забою с максимальной производительностью. За два хода по площади разбуриваемого пространства порода подвергается разрушению с минимальным попаданием зубков в одну и ту же точку за полный ход.

6 Последняя шестая линия резания включает в себя шестнадцать зубков сплава по линии длиной 55,58мм с шагом в 3,47мм.



Рисунок 3.7 – Линия резания №6

Шарошка с таким вооружением, конечно, попадает в координаты проделанных предшествующим ходом «ямок», но это не уменьшает

повышенной производительности, слой породы разрабатывается приблизительно за три хода шарошки по прокатываемой площади забоя.

Рисунок 3.7 отражает описанный случай.

3.2.3 Проектирование корпуса шарошки

Каждая из трех шарошек отличается расположением первых четырех венцов, однако основная часть корпуса шарошки и компоновка трех оставшихся венцов остается неизменной для всех шарошек, поэтому построение твердотельной модели корпуса шарошки начинается с построения общего вида.

На рисунке 3.8 отражен базовый эскиз шарошки.

Твердотельная модель корпуса шарошки получается с использованием на данном эскизе операции вращения (рисунок 3.9).

После чего формируется общий вид шарошки, создаются отверстия под V, VI, VII венцы, общие для всех шарошек. Для этого используются инструменты вытянутого выреза и кругового массива (рисунок 3.10).

Твердотельные модели для каждой из трех шарошек получаются аналогичным образом при редактировании базового эскиза и добавлении новых венцов.

Например, для первой шарошки на базовом эскизе остаются I и IV венцы, убираются лишние II и III венцы, а на их месте формируются канавки, гарантирующие зазор между шарошками и предотвращающие интерференции (рисунок 3.11).

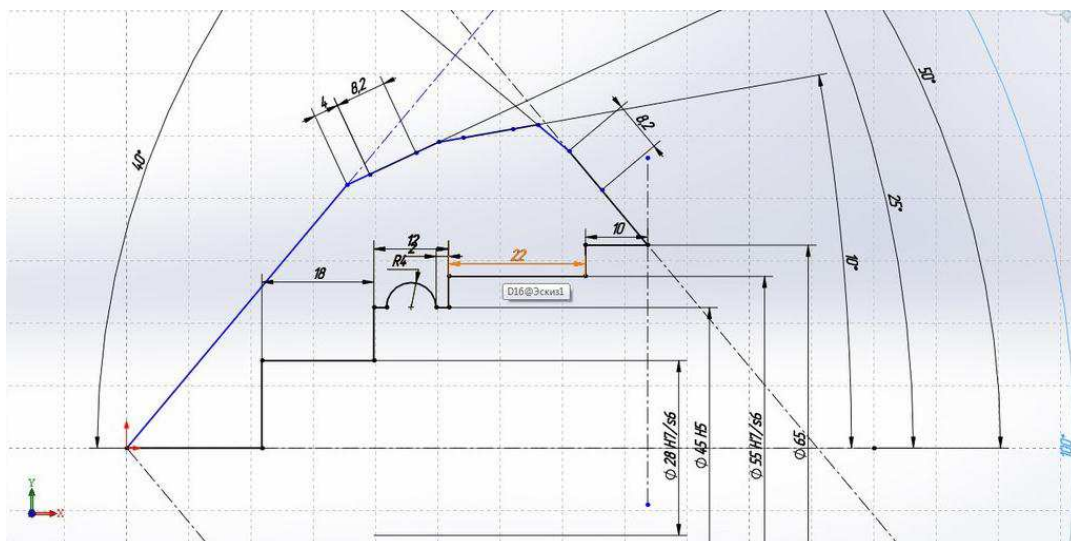


Рисунок 3.8 – Базовый эскиз шаровки с основными размерами



Рисунок 3.9 – Операция вращения



Рисунок 3.10 – Общий вид шарошки

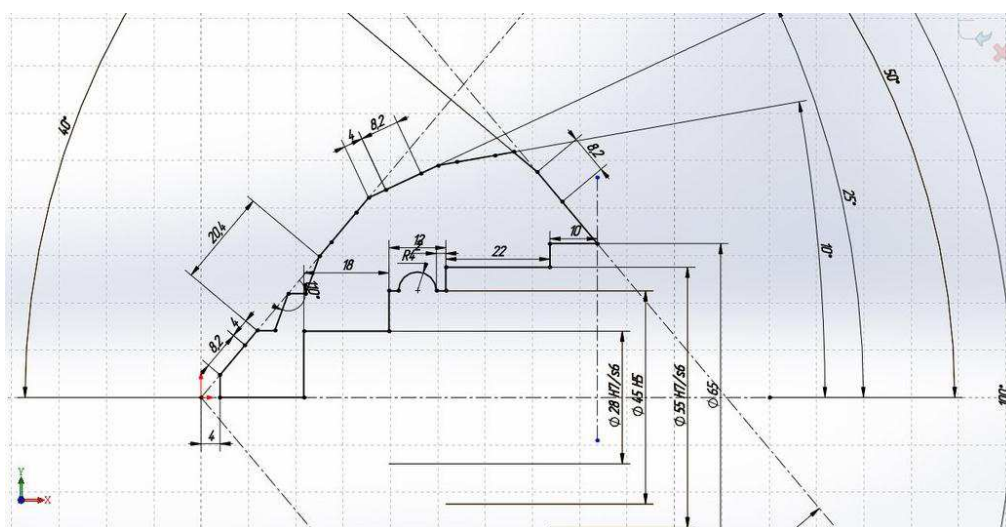


Рисунок 3.11 – Базовый эскиз первой шарошки

А так же создаются массивы отверстий для расположения зубков I и IV венцов (рисунок 3.12).



Рисунок 3.14 - Цапфа

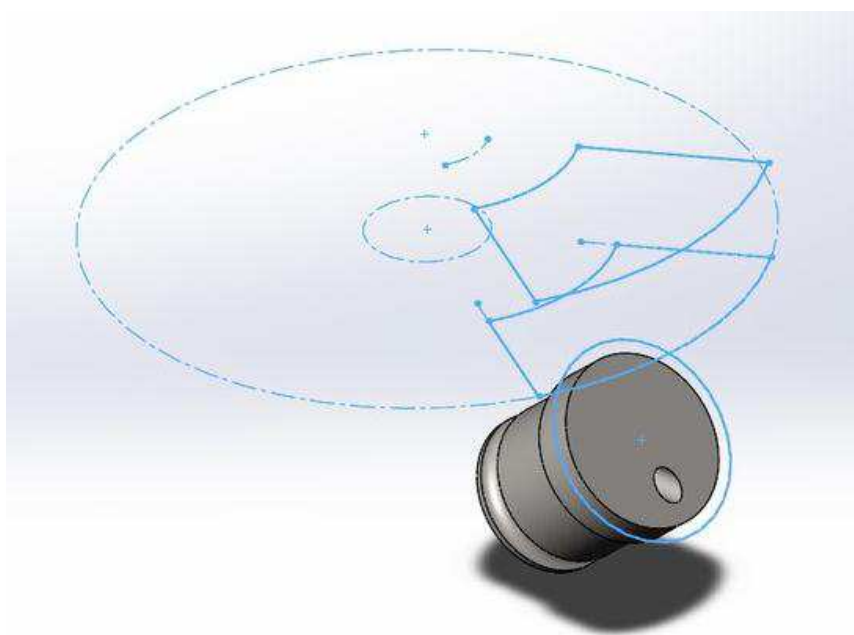


Рисунок 3.15 – Эскизы тела лапы

Пространство между этими эскизами заполняется с использованием инструмента «бобышка по сечениям» (рисунок 3.16).

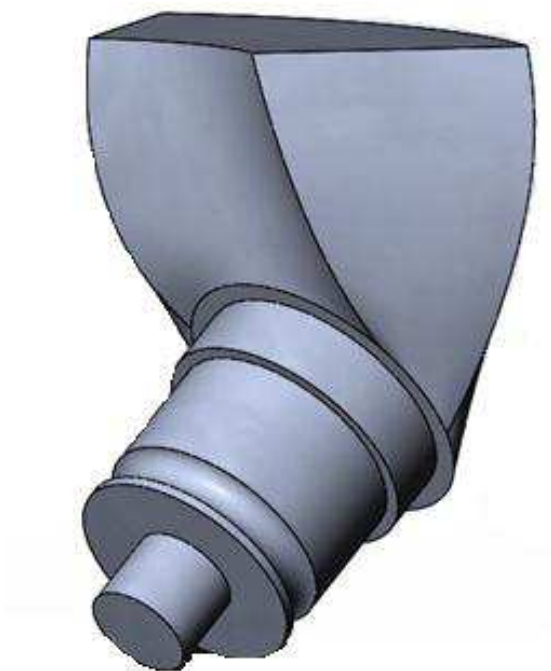


Рисунок 3.16 – Тело лапы

От верхней границы лапы создается присоединительный выступ высотой 30 мм (рисунок 3.17). Плоская часть выступа является местом присоединения к ниппелю и обеспечивает базирование лапы в сборке.



Рисунок 3.17 – Лапа с присоединительным выступом

Следующим шагом является создание отверстия под замковый палец, масляного резервуара и масляных каналов (рисунок 3.18). Отверстие под замковый палец должно быть спроектировано таким образом, чтобы шарик замкового подшипника имел возможность закатиться в замковую дорожку при сборке лапы. Для этого диаметр канала выбирается несколько больше, чем диаметр шарика. Масляные каналы соединяют масляный резервуар с поверхностями трения цапфы, при их проектировании требуется учесть возможность их сверловки в условиях производства.

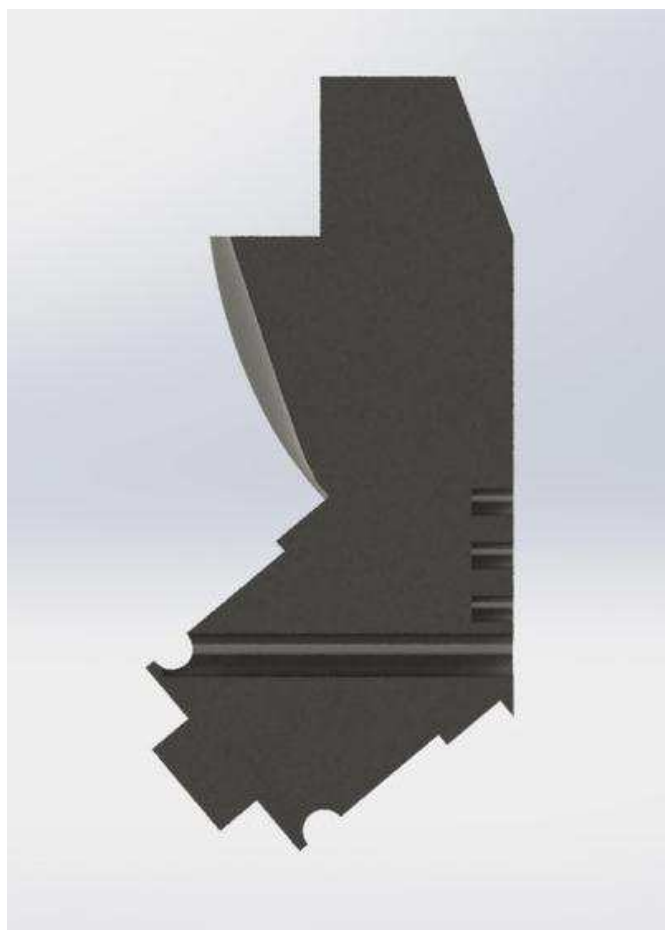


Рисунок 3.18 – Замковый и масляный каналы

На заключительном этапе проектирования лапы добавляются отверстия для армирования твёрдым сплавом и все необходимые скругления и фаски.

3.2.5 Проектирование ниппеля

Ниппель обеспечивает соединение долота с бурильной колонной. Основные размеры ниппеля регламентируются ГОСТ 20692-2003.

Твердотельная модель ниппеля получается при использовании операции вращения эскиза профиля (рисунок 3.19).

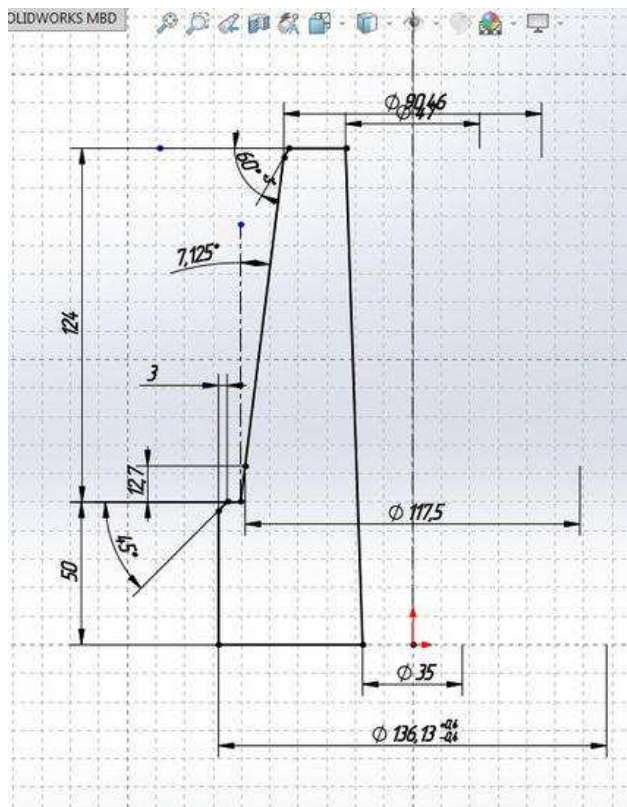


Рисунок 3.19 – Эскиз профиля ниппеля

Затем создается замковая коническая резьба по ГОСТ 28487-90.

Для присоединения лап к ниппелю создаются три лыски по размерам присоединительных плоскостей лапы.



Рисунок 3.20 – Модель ниппеля в разрезе

3.2.6 Построение сборочной модели

Порядок построения сборочной модели можно разделить на 3 шага:

1. Создание сборочных моделей шарошек;
2. Создание сборочных моделей лап;
3. Создание общей сборочной модели.

На первом этапе сборки в модель шарошки включаются заранее созданные модели твердого сплава, подшипников скольжения, упорного подшипника и уплотнений (рисунок 3.21).



Рисунок 3.21 – Сборочная модель шарошки №1 в разрезе

На втором этапе сборочная модель шарошек совмещается с моделью лапы с последующим добавлением замкового подшипника, замкового пальца, а также крышки масляного резервуара и армирования тыльной стороны лапы твердым сплавом.

Завершающим этапом создания сборочной модели является объединение ниппеля и промывочной насадки с тремя лапами.

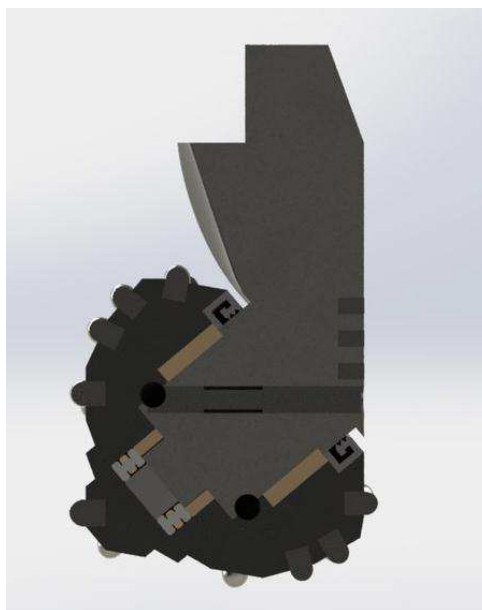


Рисунок 3.22 – Сборочная модель лапы №1 в разрезе

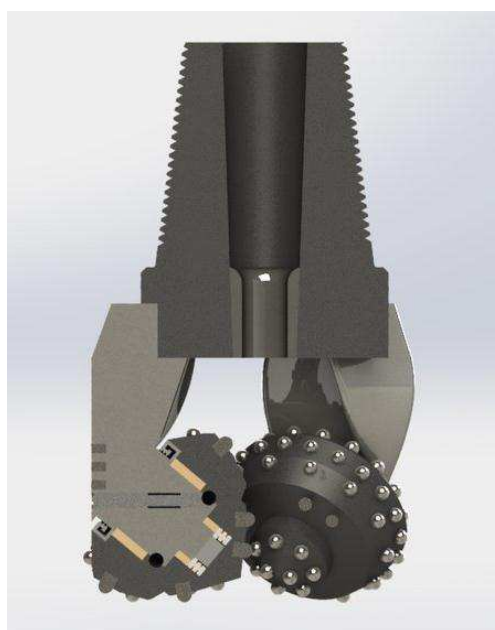


Рисунок 3.23 – Сборочная модель долота в разрезе

3.3 Выводы

В результате проектирования цель разработки достигнута, выполнен проект по разработке долота диаметром 184 мм, соответствующий требованиям технического задания.

Из всего выше представленного следует отметить следующее, очень важным в процессе бурения является надежность и производительные характеристики бурильного инструмента. Данный метод позволяет оперативно произвести анализ количества элементов твердосплавного вооружения, входящих в состав конструкции шарошки. Подобрать шаг, вычислить траекторию и длину прохождения каждой линии резания по забойному пространству, учитывая возможное наличие конусности. Также исходя из свойств разбуриваемых пород удобно определять оптимально выгодные характеристики вооружения долота не только с экономической точки зрения, но и со стороны эффективности работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Долото предназначено для разрушения горной породы и образования ствола скважины. От работоспособности долота, соответствия его конструкции физико-механических свойств разбуриваемых горных пород и применяемых параметров режимов бурения зависят основные технико-экономические показатели проходки скважины.

Одной из важнейших проблем, стоящих перед бурением, является прохождение грунтов разной категории прочности одним инструментом.

Увеличение прочности породоразрушающего инструмента должно достигаться посредством эффективного конструктивного решения. В работе был представлен метод моделирования взаимодействия рабочего элемента долота с пробуриваемой породой. С помощью геометрического разбиения элемента на линии резания [линия резания – обеспечивает внедрение зубков шарошки в породу], которая содержит некоторое количество твердых сплавов, с определенным шагом оптимально обеспечивающий эффективную проходку. Каждая линия резания шарошки должна проходить всю длину забоя таким образом, чтобы твердосплавные зубки не попадали в одну и ту же точку на одной плоскости. Достижение грамотного конструктивного расположения вооружения шарошки обеспечит не только эффективное разбуривание породы, но и снизит вероятность возникновения высокоамплитудных продольных колебаний в системе «долото-забой».

Таким образом, поставленные цели в работе были достигнуты посредством глубокого изучения механизма работы долота в забойном пространстве сравнительного анализа существующих на сегодня перспективных технологических решений, связанных с шарошечным породоразрушающим инструментом и непосредственной разработки метода оценки надежности и эффективности разбуривания породы с меньшим коэффициентом износа долота за счет правильной конструктивной особенности вооружения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 20692-2003 Долота шарошечные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 20692-75 ; введ. 22.05.2003. – Москва : Издательство стандартов, 2003. – 8 с.
2. ГОСТ 28487-90 Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль. Размеры. Допуски. – Введ. 27.03.90 – Москва : Стандартиформ, 2006. – 10 с.
3. Абатуров В.Г. Физико-механические свойства горных пород и породоразрушающий буровой инструмент: Учеб. пособие для вузов. – Тюмень : Изд-во «Нефтегазовый университет», 2007. – 238 с.
4. Блинов Г. А. Техника и технология высокоскоростного бурения / Г. А. Блинов, О. А. Буркин, О. А. Володин. – М.: Недра, 1982. – 408 с.
5. Брылов С. А. Горно-разведочные и буровзрывные работы: учебник для вузов / С. А. Брылов, Л. Г. Грабчак, В. И. Комащенко. – М.: Недра, 1989. – 287 с.
6. Ветров Ю А, Баландинский В Л, Баранников В Ф, Кукса В П, Разрушение прочностных грунтов. Киев, «Будивельник», 1972, С52-61.
7. Булатов, А.И. Справочник инженера по бурению: в 4т. / А.И. Булатов, А.Г. Аветисов. – М.: Недра, 1985. – т. 1-2.
8. Буткин, В. Д. Опыт и развитие технологии силового бурения резанием на карьерах / В. Д. Буткин, А. В. Гилёв и [др.]. – М. : МАКС Пресс, 2005. – 313 с.
9. Ганджумян, Р.А. Расчеты бурения (справочное пособие) / Р.А. Ганджумян, А.Г. Калинин, Н.И. Сердюк. – М.: РГГРУ, 2007.
10. Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях : монография / А. В. Гилёв, А. О. Шигин, В. Т. Чесноков, И. Р. Белозеров. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. – 372 с.

11. Корнилов Н. И. Технология бурения скважин алмазным инструментом при высоких скоростях вращения / Н. И. Корнилов, Г. А. Блинов, П. Н. Курочкин. – М.: Недра, 1978. – 237 с.
12. Зеленин А.Н. Баловнев В.И. Керов И.П. Машины для земляных работ. М: «Машиностроение», 1975, С131-145.
13. Корнилов Н. И. Буровой инструмент для геологоразведочных скважин: справ. / Н. И. Корнилов, Н. Н. Бухарев, А. Т. Киселев / под ред. Н.И. Корнилова. – М.: Недра, 1990. – 395 с.
14. Нескоромных, В. В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ : учеб. пособие / В. В. Нескоромных. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. – 396 с.
15. Султанов Б.З. Забойные буровые машины и инструмент / Б.З. Султанов, Н.Х. Шаммасов. – Москва : Недра, 1976. – 239 с.
16. Калинин, А.Г. Практическое руководство по технологии бурения на жидкие и газообразные полезные ископаемые: Справочное пособие / А.Г. Калинин и [др]. –М.: ООО «Недра – Бизнес центр», 2001

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра технологических машин и оборудования нефтяного комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Э.А. Петровский
« 06 » июня 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

21.03.01.07 – Эксплуатация и обслуживание технологических
объектов нефтегазового комплекса

«Модернизация шарошечного долота диаметром 184 мм для глубокого
бурения пород средней и большой крепости»

Руководитель К. Т. Н., доцент


06.08.2017

А. К. Данилов

Выпускник ГБ13-04 081310953



А. Е. Козак

Красноярск 2017